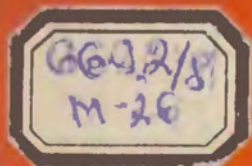


Л.М.МАРИЕНБАХ Л.О.СОКОЛОВСКИЙ



**ПЛАВКА
СПЛАВОВ
ЦВЕТНЫХ
МЕТАЛЛОВ
ДЛЯ
ФАСОННОГО
ЛИТЬЯ**

Л. М. МАРИЕНБАХ | Л. О. СОКОЛОВСКИЙ

ПЛАВКА СПЛАВОВ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ ДЛЯ ФАСОННОГО ЛИТЬЯ

Допущено Министерством высшего и среднего специального образования РСФСР в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по специальности «Машины и технологии литейного производства»



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ВЫСШАЯ ШКОЛА»
Москва — 1967

БПЗ 2 6П4 174.
М- 201
БДК. 669.2.8 621.741.5

Рецензенты:

Кафедра «Машины и технология литейного производства» Московского автомеханического института
Член-корреспондент АН СССР А. С. Займовский.

Лев Михайлович Мариенбах
Лев Осипович Соколовский

ПЛАВКА СПЛАВОВ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ ДЛЯ ФАСОННОГО ЛИТЬЯ

Редактор Н. Н. Ефремов
Техн. редактор А. К. Нестерова
Корректор В. И. Елизаров

Т—08758. Сдано в набор 15/IX 76 г. Подп. к печати 13/IV 67 г. Формат 60х90/16. Объем 15,5+вкл. 0,24 и л. Уч.-изд. з. 15,31. Изд. № 01-1. Тираж 9000 экз. Цена 64 коп. Тематический план издательства «Высшая школа» (науки и техники) на 1967 г. Позиция 104. Москва А-31. Неглинная ул., дом 29/14. Издательство «Высшая школа».

Свердловская полиграфическая компания. Росглавполиграфбрига Комитета по печати при Совете Министров РСФСР
г. Саратов ул. Чапаевская 59. Тираж 394.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебное пособие написано в соответствии с программой курса «Металлургия литейного производства» по разделу «Плавка цветных металлов и сплавов» и содержит необходимые сведения по технологии плавки основных цветных металлов и сплавов в плавильных печах любого типа.

В пособии приведены сведения о составе и механических свойствах сплавов цветных металлов; рассмотрены шихтовые материалы, флюсы, лигатуры, способы расчета шихты и конструкции плавильных печей.

Особое внимание уделено вопросам взаимодействия газов с легкими металлами и методам определения газов в алюминии и магнии. Подробно освещены практические приемы и способы дегазации и рафинирования сплавов, применяемые на заводах, равно как и причины возникновения различных видов брака и меры борьбы с ним.

В сжатой форме изложены необходимые сведения об охране труда, промышленной эстетике, санитарии и гигиене, а также правила по технике безопасности на плавильных участках. Книга предназначена для студентов технических вузов и может быть полезна для широкого круга инженерно-технических работников заводов и научно-исследовательских институтов.

Авторы выражают свою искреннюю благодарность рецензентам рукописи чл.-корр. АН СССР А. С. Займовскому и научным сотрудникам кафедры «Машины и тех-

нология литейного производства» МАМИ, возглавляемой докт. техн. наук П. Н. Аксеновым за весьма ценные замечания и советы, а также канд. техн. наук М. А. Кремеру и инж. Г. В. Малаховскому за помощь в подборе практических материалов, накопленных передовыми заводами.

ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР РАЗВИТИЯ ЦВЕТНОГО ЛИТЬЯ

§ 1. ВОЗНИКНОВЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ЛИТЬЯ ИЗ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Развитие литейного производства из цветных металлов непосредственно связано с освоением процесса получения этих металлов из руд.

Человек познакомился с металлами в очень отдаленные времена, на заре развития человеческого общества. Раньше других металлов были получены свинец и олово, так как они легко могли быть восстановлены из окислов даже в пламени костра. Олово и свинец — мягкий и поэтому оказались непригодными для изготовления орудий труда и оружия; однако выплавка их указала направление к изысканию способов получения других металлов.

Например, первую бронзу древние металлурги могли получить, нагревая самородную медь с оловянной рудой или смесь медной и оловянной руды.

Освоение бронзы, этого прочного и твердого сплава, пригодного для различных поделок, открыло новую эпоху в истории материальной культуры (бронзового века), ознаменовавшейся бурным развитием производительных сил.

По мере совершенствования плавильных печей возникали различные способы получения железа из руд. Железные изделия обладали значительно большей прочностью, чем медные, поэтому железо вытесняло бронзу и становилось наиболее употребительным металлом. Постепенно человек ознакомился все с большим числом металлов и научился выплавлять их из руд.

В XVIII в. была освоена платина, в XIX — натрий, магний, алюминий, хром, марганец, никель, молибден, кобальт, кадмий и пр. и др.

В XX в. в связи с быстрым развитием химии были открыты остальные металлы, встречающиеся в земной коре.

За время существования литейного производства было выплавлено не менее 2 миллиардов тонн железа и 80 миллионов тонн меди, свинца, цинка и других цветных металлов. Эти металлы применяются в промышленности и в быту в литом, ковном, штампованном и прессованном виде. Значительная часть металлов, в виде сплавов применяется в литейном производстве.

§ 2. ЗАРОЖДЕНИЕ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА В РОССИИ

Археологические исследования подтвердили достоверность широкого распространения и высокий уровень культуры литейного производства в древней Руси.

В VI—VII вв. в Приднестровье широко производилось художественное литье из бронзы и серебра. Начиная с IX—X вв. применялся способ литья по восковым моделям. В XI в. появились каменные литейные формы.

Ремесло IX—X и последующих столетий своими корнями уходит в первые века нашей эры. Высокая техника этого ремесла должна рассматриваться как продукт длительного опыта приднестровских мастеров, обогащаемая связями с Византией и Востоком.

Помимо широко распространенного производства литых украшений, древние литейщики, особенно в период Киевской Руси, изготавливали котелки, палицы, наконечники копий и стрел, кресты, иконки складные, бронзовые зеркала, а позднее — паникадила, колокола, церковные двери и другие предметы религиозного культа, многие из которых сохранились до настоящего времени. После захвата и ограбления Киевского княжества во время татарского нашествия производственными центрами по выпуску меднолитых изделий становятся Тверское и Московское княжества и особенно Великий Новгород. Со второй половины XIV в. Москва становится одним из наиболее сильных и богатых русских княжеств. Именно здесь концентрируются все выдающиеся силы в области искусства и ремесел. Москва начинает возглавлять и русское литейное ремесло.

В этот период производились отливки больших колоколов. При Дмитрии Донском и его преемнике Василии I сложная международная обстановка, создававшаяся для Московского государства, ставит перед русскими литейщиками задачу овладения искусством изготовления пушек.

Московские государи также приглашали к себе иностранных мастеров. Очень удачно было приглашение Иваном III итальянского мастера А. Фиораванти в качестве руководителя по производству пушек. Замечательные отливки производились и русскими литейщиками. В 1497 г. упоминалось имя тверского пушечного мастера Миклу Кречетинкова. Известно также имя московского пушечного мастера Якова, отлившего в 1483 г. пушку, упомянутую в описи Смоленского гарнизона.

К середине XVI в. Москва по количеству артиллерийских орудий занимала на всем данном одно из первых мест среди других европейских государств.

История этого времени сохранила нам имена выдающихся русских мастеров-литейщиков, среди которых особенно ярко запечатлены такие талантливые мастера пушечных и колокольных дел,

как Андрей Чохов (1568—1632 гг.), Иван Моторин (1687—1735 гг.), В. П. Екимов (1756—1838) и многие другие.

Андрей Чохов в 1585 г. отлил по повелению царя Федора Ивановича свою знаменитую царь-пушку весом 40 т и длиной 5,34 м, принесшую автору широкую известность. Им отлиты также огромные пушки: «Лев», «Троил» (1590 г.), «Аспид» (1590 г.), «Скоропея» (1590 г.), «Царь Ахиллес» (1617 г.) и многие другие, а также колокол «Реут» весом 2000 пудов — 32 т (1622 г.).

Иван Моторин (заканчивал отливку его сын Михаил) в 1735 г. отлил царь-колокол весом 12 500 пудов — около 200 т.

Для заливки металлом такой огромной формы потребовалось построить вокруг нее пять плавильных печей емкостью 45 т. каждая. Летки этих печей вели прямо в форму. Одновременная заливка бронзы из пяти печей без ковшей явилась бы весьма сложной технической задачей и в наше время.

Эта отливка с изображениями различных ювелирных украшений и барельефов — портретов царя Алексея Михайловича и императрицы Анны Иоановны с иконами Христа и евангелистов, — так же как и уникальная отливка Чохова, хранится в Московском Кремле.

В. П. Екимов отлил за короткий период времени (с 1801 по 1815 гг.) множество различных статуй в натуральную величину, ваз, бюстов, барельефов. В нишах северного входа Казанского собора в Ленинграде установлены отлитые им статуи: Андрея Первозванного, Иоанна Предтечи, Александра Невского и князя Владимира. В 1816 г. им был отлит памятник Минину и Пожарскому в Москве по проекту скульптора Мартоса. Памятники Кутузову и Барклаю-де-Толли, установленные в 1837 г. в восточном и западном проездах Казанского собора в Ленинграде, были последними замечательными произведениями Екимова.

Художественное (статуарное) литье, как самостоятельная область литейного производства, получило свое развитие в России в конце XVII в.

По достоинству имя К. Б. Растрелли украшает плеяду мастеров-литейщиков художественного бронзового литья того времени. Им отлиты: в 1720 г. огромная конная статуя Петра I с орнаментами у Инженерного замка в Ленинграде, в 1723 г. — поразительно точный по портретному сходству и тщательности отделки — бронзовый бюст Петра I, статуя императрицы Анны Иоановны и др. Увенчан славой Э. М. Фальконе, отливший великолепный бронзовый памятник («Медный всадник») Петру I, весом в 21 т, высотой 10 м с постепенно меняющейся толщиной стенок (от круппа коня к хвосту) от 8 до 30 мм. Памятник при огромном стечении народа был установлен в 1782 г. на набережной реки Невы в Ленинграде.

Нельзя не упомянуть имя замечательного русского литейщика П. К. Клодта, создавшего такие непревзойденные образцы отливок, как копии Анничкова моста в Ленинграде, явившиеся шедевром русского скульптурного и литейного искусства. Он так же, как и его

предшественник В. П. Екимов, не знал неудач в отливке крупных статуй одним приемом. Первая группа коней, отлитая им в 1839 – 1840 гг., была подарена Николаем I прусскому королю и установлена на площади перед старым королевским дворцом в Берлине; вторая группа отлитая в 1842 г., была передана королю неаполитанскому и до сего времени украшает королевскую площадь в Неаполе; и наконец, третья и четвертая группы коней, отлитые в 1841, 1849 и 1851 гг., были установлены на Аничковом мосту в Ленинграде. Эти отливки высокохудожественного исполнения принесли Клодту мировую славу. Он был избран академиком трех академий: римской, берлинской и парижской.

Кроме того, им были отлиты монументальные памятники: Н. М. Карамзину, поэту-сановнику Г. Державину, баснописцу И. А. Крылову, Петру I в г. Кронштадте и др.

Помимо статуарного и пушечного бронзового литья, отливки из медных сплавов производились также для обслуживания широких слоев населения. Это были в основном предметы религиозного культа (кресты).

§ 3. РАЗВИТИЕ ЦВЕТНОЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА В РОССИИ И В СССР

Развитие медного литья было тесно связано с развитием выплавки меди. На территории СССР, в частности на Урале, на Кавказе и в Сибири, найдены многочисленные следы древнейших медных рудников и древних производств, выплавлявших медь, железо, свинец, серебро. Плавильные мастерские были обычно расположены вблизи мест добычи руды.

Найденные остатки железа, осколков глиняных тиглей и готовой меди (плоские лепешки и медные капли) позволили воспроизвести процесс выплавки меди.

Плавильные горны складывались из глины или красного кирпича. Они имели круглое сечение диаметром от 30 см и больше. Простейшие меха подавали воздух через глиняные фурмы — трубки диаметром 2 см. Восстановленный и расплавленный металл скапливался на дне горна или глиняного тигля.

Литейные формы выдалбливались из твердого камня и весьма тщательно шлифовались внутри. Две симметричные половинки формы тщательно пригонялись друг к другу, скреплялись и через верхнее отверстие заливались металлом.

Ассортимент литейных изделий бронзового века был довольно разнообразен. Это были предметы военного и охотничьего назначения — топоры и кельты, наконечники копий и стрел, кинжалы и т. п.

Меднолитейное ремесло имело хозяйственное назначение, например в городе Кронштадте, отливались предметы домашнего быта,

эстетики и культа. Документальные данные, свидетельствующие о постройке в России первых железоделательных и медеплавильных заводов, относятся к XVI и XVII вв.

Начало XVIII в. ознаменовалось двумя событиями, важными для развития металлургии в России: в 1700 г. Петром I был основан «Приказ рудокопных дел» и в 1725 г. — Российская академия наук. Благодаря деятельности приказа рудокопных дел и экспедиций, снаряжавшихся Академией наук в различные районы страны, были обнаружены многие рудоносные районы.

Железоделательные, медеплавильные, а затем серебряно-свинцовые заводы стали быстро возникать в различных районах страны, особенно на Урале.

Было построено несколько медеплавильных заводов, производились успешные поиски медных руд, уральская медь экспортировалась даже в Англию.

В XVIII столетии Россия выдвигается на одно из первых мест в мире по производству меди.

В конце XVIII в. выплавлялось меди (в тыс *т*): в Англии — 5,3, России — 2,8, Австро-Венгрии — 2,0, Чили — 1,0, Германии — 0,7, Швеции — 0,6 и Норвегии — 0,5. Всего 12,9 тыс. *т*. Таким образом, в конце XVIII в. Россия выплавляла 22% всей мировой выплавки меди.

В XIX в. быстрое развитие капитализма на Западе и длительное сохранение феодальных нравов в России привели к отставанию в темпах роста русского металлургического производства. К началу первой мировой войны русская металлургия удовлетворяла внутренние потребности страны только по чугуну. Потребность меди покрывалась лишь на 85%, цинка на 6%, свинца на 3%. Выпуск никеля, алюминия, магния, олова и редких металлов в России в этот период не производился.

В СССР в годы довоенных пятилеток и в послевоенный период производство цветного металла резко возросло.

Завершение строек крупных электростанций на Волге и Днепре, а в последние годы на мощных сибирских реках расширило и укрепило энергетическую базу цветной металлургии.

До Великой Октябрьской социалистической революции в России производились фасонные литые изделия, главным образом, из бронзы и сплавов свинца, цинка и серебра. Это были предметы вооружения, искусства и быта. В промышленности сравнительно широко применялось только бронзовое литье. Алюминий в небольшом количестве ввозился из-за границы. Литые из магнелиевых сплавов вообще не производилось. Научные основы литья из цветных сплавов не были разработаны. Были лишь систематизированы рецептурные данные о производстве сплавов на основе меди — олово и медь — олово — цинк.

С началом индустриализации страны (1928 - 1933 гг.) потребность в отливках из цветных металлов резко возросла. Повысились

требования, предъявляемые к качеству отливок. Возникла необходимость в расширении научных исследований, изыскании новых литейных сплавов, проведении научных экспериментов, развитии теории литейных процессов, разработке новых, более совершенных технологических процессов, способствующих удовлетворению нужд индустрии и техническому прогрессу литейного производства.

Впервые в эти годы была разработана и научно обоснована теория изготовления литья из цветных металлов. Появились полноценные заменители высокооловянных бронз. В частности, были внедрены заменители высокооловянных бронз в виде сурмяно-никелевых бронз, впервые исследованных и опробованных М. П. Славинским в Ленинградском политехническом институте. Основателем металловедения цветных металлов и сплавов в СССР явился акад. А. М. Бочвар, создавший школу советских металловедов. Он создал имеющие большое научное и практическое значение диаграммы «состав — литейные свойства», позволяющие не только оценить свойства сплавов, но и влияние перегрева и интервала кристаллизации на качество сплава.

Дальнейшие исследования свойств цветных сплавов в больших масштабах проведены в СССР А. А. Бочваром, А. Г. Спасским, С. М. Вороновым, П. Е. Горшковым, И. Ф. Колобневым, М. В. Шаровым, А. П. Гудченко, М. Б. Альтманом, А. П. Полянским, П. И. Барановым, А. С. Лугаськовым и др.

Была создана научная классификация алюминиевых сплавов и исследованы их свойства и технологические особенности производства.

В истекшем семилетии одним из главных направлений дальнейшего развития техники литейного производства явилось максимальное расширение области применения литья из легких сплавов. При этом увеличение количества отливок сопровождалось одновременно: снижением себестоимости 1 т литья, уменьшением непроездных потерь металла, и снижением припусков на механическую обработку. Планом развития народного хозяйства СССР на 1959—1965 гг. предусматривалось значительное увеличение выпуска литья из алюминиевых сплавов в качестве конструкционного материала для более широкого применения их в различных отраслях промышленности.

В связи с этим в конструкциях машин произошли существенные изменения: резко уменьшился вес отдельных узлов и машин в целом, сократился объем механической обработки, снизились энергетические затраты, себестоимость. Созданы более облегченные конструкции машин, механизмов, аппаратов. Примером такого облегчения может служить замена чугуного блока автомобильного двигателя алюминиевым, что привело на машине для литья под давлением к значительной денежной экономии, порядка 25% от себестоимости изделия, главным образом за счет резкого сокра-

щения объема механической обработки, так как полностью исключается сверление 130 отверстий и черновая обработка; б) резкое снижение трудоемкости и стоимости блоков, так как стоимость прессформ оказалась вдвое дешевле соответствующего модельного и стержневого комплекта для формовки в песчаные формы.

Алюминиевые сплавы обладают малым удельным весом [2,5—2,7 г/см³ (24,0—26,5 кн/м³)], хорошими литейными свойствами (жидкотекучестью и др.), высокой теплопроводностью, электропроводностью, антикоррозионной стойкостью и высокими механическими свойствами.

В песчаных формах уже получены сложные отливки из алюминиевых сплавов весом до 1 т.

Особый интерес представляют сплавы с магнием, обладающие меньшим 1,74 г/см³ (17,05 кн/м³) удельным весом и способствующие уменьшению инерционных сил в деталях и механизмах, находящихся во время эксплуатации во вращательном или возвратно-поступательном движении. Кроме того, эти сплавы, обладающие высокой антикоррозионной стойкостью, используются также в изделиях, работающих в условиях различных агрессивных сред.

Магниевые сплавы как промышленные применяются сравнительно недавно. Они являются самыми легкими сплавами с достаточно высокими механическими свойствами, благодаря чему нашли широкое практическое применение, особенно в авиационной промышленности, где уменьшение мертвого груза имеет решающее значение.

Магний в чистом виде из-за невысоких механических свойств не применяется в металлических конструкциях.

Особенностью магния и его сплавов является недостаточная сопротивляемость коррозии. Промышленностью насчитывается большое количество магниевых сплавов, называемых электромагний в Германии и ду-металлом в США.

В СССР стандарт на фасонное литье из магниевых сплавов разработан недавно. Литье магниевых сплавов требует особо строгого соблюдения условий технологии производства, вследствие высокой степени сродства магния к кислороду.

Выпуск цветного литья в СССР возрос до 4% от общего выпуска фасонного литья. При этом доля медных сплавов составила примерно 25%, алюминиевых — 68, магниевых — 3 и цинковых — 4%.

Советское литейное производство неразрывно связано со специализацией литейных заводов и цехов и осуществляется на ее основе.

Назначение специализации литейного производства, как и других отраслей промышленности, заключается именно в создании необходимых условий для наиболее эффективного изготовления основных изделий (отливок), благодаря лучшему использованию существующих мощностей и оборудования, применению передовых технологических процессов и методов труда.

Специализация является крупным резервом промышленности. Планомерно ликвидируются мелкие литейные цеха и участки с те-

жевыми и трудоемкими условиями работы. Реконструируются действующие и строятся новые специализированные районные литейные заводы («Центролиты») и цехи. Общее количество литейных цехов в истекшем семилетии, за счет ликвидации мелких цехов, сократилось примерно на 20%, а средний выпуск отливок, приходящийся на один цех в стране, возрос примерно в 2 раза.

Преимущества планируемого развития литейного производства позволяют весьма эффективно и быстро расширить применение специальных видов литья: по выплавляемым моделям, в оболочковые формы, кокильное и центробежное, под давлением и др.

Рост механизации и автоматизации литейного производства способствует повышению качества и точности отливок и резко улучшает санитарно-технические условия труда.

Для ускорения темпов технического прогресса поставлена задача в ближайшие годы практически полностью завершить специализацию литейного производства с осуществлением перехода от технологической к предметной и подетальной (отраслевой) специализации. При этом следует ожидать увеличения выпуска литья (примерно в 1,8 раза), снижения себестоимости литья в 1,2 раза и сокращения срока окупаемости капиталовложений с 3,7 до 2,3 года.

Научные основы специализации литейного производства воплощены в типовых проектных решениях и практически осуществлены на ряде заводов.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЛАВКИ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

§ 1. ОСОБЕННОСТИ ПЛАВКИ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Необходимость глубокого изучения теоретических вопросов плавки литейных сплавов объясняется тем, что в литейном, а особенно в цветнолитейном производстве, они играют исключительно большую роль и имеют первостепенное значение для получения высококачественного литья.

Изучение процессов плавки металлов в литейном производстве базируется на теории металлургических процессов.

При плавке металлов металлургические реакции происходят обычно в сложных гетерогенных системах, для которых характерны разнообразные межфазовые взаимодействия, превращения в отдельных фазах, возникновение новых и исчезновение исходных фаз.

При изучении поведения этих систем, как и при любом физико-химическом исследовании, необходимо выяснить три основных вопроса.

1. Установить число участвующих в системе фаз, температурные условия их существования, состав, структуру и границы раздела, т. е. изучить фактические условия процесса.

2. С помощью термодинамического метода определить условия, при которых возможны относительные состояния равновесия системы в целом или отдельных ее частей.

3. Выяснить скорость и путь, по которому система будет стремиться к равновесию, т. е. изучить кинетику процесса.

В процессе плавки металлов происходит расплавление твердой завадки, доведение расплава до заданного химического состава и приведение его в такое состояние, которое позволяет обеспечить получение отливок с заданной структурой, определенными физико-механическими свойствами, без литейных пороков и т. д.

При плавке цветных металлов происходят следующие главные процессы: это, в первую очередь, окисление металлов, поглощение газов, взаимодействие расплава со шлаком и футеровкой печи, раскисление, дегазация и модифицирование сплавов.

Специфика этих процессов состоит в том, что их термодинамический анализ не дает полного ответа на поставленные вопросы,

так как при плавке металлов равновесные состояния, как правило, вообще не достигаются и, следовательно, для установления рациональных условий плавки нужно исходить не только из законов химической термодинамики, но и учитывать кинетику процесса; а кинетический анализ системы дает пока еще большей частью лишь качественные, а не количественные решения.

Следует отметить, что если ранее литейщики цветного литья пользовались исходными материалами, содержащими основного элемента 99,9% и в редких случаях 99,99%, то в настоящее время в связи с созданием новой цветной металлургии, или, как ее называют, прецизионной металлургии удается получать ультрачистые металлы, содержащие шесть и более девяток (после запятой) основного вещества, что является одним из важнейших достижений металлургии послевоенных лет.

Без получения этих металлов сверхвысокой чистоты (урана, тория, циркония, германия, бериллия, алюминия, ниобия и др.) практически невозможно было бы развитие многих важнейших областей новой техники, таких, как атомная энергетика, производство полупроводниковых приборов и разнообразных жаропрочных материалов для машиностроения, авиации и ракетной техники.

Для очистки этих материалов от примесей и газов применяются новейшие, наиболее совершенные методы химической технологии (ионообмен, экстракция, тонкая ректификация хлоридов и других галонидных соединений, кристаллографические методы рафинирования, зонная плавка с применением ультразвука и вытягивание монокристаллов из расплавов по методу Чохральского и др.).

Рафинирование металлов осуществляется в дуговых и других специальных плавильных печах с применением глубокого вакуума или инертного газа.

Применение метода радиоактивных изотопов («меченых» атомов) и других новейших методов позволяет повысить чувствительность определения примесей и газов и улучшить контроль качества металлов.

Однако для целей плавки обычных цветных металлов и сплавов промышленного назначения применение таких чистых металлов в составе шихты в большинстве случаев не вызывается необходимостью.

§ 2. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССА ПЛАВКИ

Все протекающие химические процессы сопровождаются поглощением или выделением тепла, следовательно, при этом происходит повышение или понижение внутренней энергии системы.

Количество теплоты в калориях (джоулях), выделившееся или поглотившееся при реакции, проведенной с грамм-молекулярными количествами исходных веществ при постоянной температуре, носит название **тепловой эффект реакции**.

Если при реакции тепло выделяется, то тепловой эффект реакции считается положительным и реакция называется экзотермической. В реакциях, идущих с поглощением тепла, тепловой эффект считается отрицательным, и такие реакции называются эндотермическими.

В термодинамике, наоборот, тепло, поглощенное системой, считается положительным, а выделенное — отрицательным и обозначается соответственно Q и $-Q$. В отличие от этих обозначений в термохимии положительный тепловой эффект (выделенное тепло) обозначается $+Q$, а отрицательный (поглощенное тепло) обозначается $-Q$.

Различают тепловой эффект при постоянном объеме $\bar{Q}_V$ и при постоянном давлении $\bar{Q}_p$. Из первого закона термодинамики вытекает, что

$$\bar{Q}_V = (U_2 - U_1) = -\Delta U,$$

т. е. тепловой эффект реакции при постоянном объеме равен убыли внутренней энергии системы, а тепловой эффект при постоянном давлении

$$\bar{Q}_p = -[(U_2 + pV_2) - (U_1 + pV_1)]$$

или, обозначив $U + pV = H$ (энтальпия), получаем

$$\bar{Q}_p = -(H_2 - H_1) = -\Delta H,$$

т. е. теплота, выделяющаяся при постоянном давлении, равна убыли энтальпии в системе. Разница между $\bar{Q}_V$ и $\bar{Q}_p$ для реакции между твердыми и жидкими веществами ничтожно мала. Она становится заметной для газовых реакций, но в сравнении с самим тепловым эффектом она все же мала. Поэтому нет необходимости при металлургических расчетах различать $\bar{Q}_V$ и $\bar{Q}_p$. В расчете производственных процессов обычно пользуются тепловыми эффектами при постоянном давлении.

Если протекает какая-либо экзотермическая реакция, то

$$-\Delta H = -\bar{Q}_p,$$

т. е. процесс протекает с убылью энтальпии (теплосодержания) в системе. Если же протекает эндотермическая реакция, то $\Delta H = -\bar{Q}_p$, так как процесс протекает с приращением энергии системы.

Тепловой эффект такой реакции, когда какое-либо соединение образуется непосредственно из элементов, называется **теплотой образования**. Теплоты образования наиболее важных окислов металлов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Теплота образования окислов металлов

Химический элемент	Оксид металла	Теплота образования		Химический элемент	Оксид металла	Теплота образования		Химический элемент	Оксид металла	Теплота образования	
		ккал/г-атом кислорода	дж/г-атом кислорода			ккал/г-атом кислорода	дж/г-атом кислорода			ккал/г-атом кислорода	дж/г-атом кислорода
Ca	CaO	152,1	638,8	Mn	Mn ₂ O ₃	77,2	310,2	Pb	PbO	52,7	221,3
Mg	MgO	145,8	622,36	P	P ₂ O ₅	74,0	300,8	Pb	Pb ₂ O	51,2	215,4
Li	Li ₂ O	142,8	599,7	Sn	SnO ₂	68,0	285,6	As	As ₂ O ₃	49,7	207,0
Sr	SrO	140,8	591,3	Sn	SnO	67,9	285,1	Bi	BiO	49,2	206,6
Be	BeO	135,0	567,0	Fe	Fe ₃ O ₄	66,6	279,7	C	CO ₂	47,0	197,4
Al	Al ₂ O ₃	134,3	564,0	Fe	Fe ₂ O ₃	65,1	273,4	Bi	Bi ₂ O ₃	45,9	192,7
Zr	ZrO ₂	129,0	542,0	Mo	MoO ₂	65,0	273,0	Sb	Sb ₂ O ₃	45,8	192,3
V	V ₂ O ₃	113,5	476,7	Fe	FeO	64,5	270,9	As	As ₂ O ₅	45,6	192,1
Ti	TiO ₂	109,0	457,8	Mn	MnO ₂	62,7	263,3	Pb	Pb ₃ O ₄	42,6	178,9
Si	SiO ₂	102,5	430,5	Cd	CdO	62,3	261,9	Cu	Cu ₂ O	39,9	167,5
Na	Na ₂ O	100,7	422,9	Mo	MoO ₃	60,16	252,4	S	SO ₂	35,5	149,1
Cr	Cr ₂ O ₃	93,3	391,8	Na	Na ₂ O ₂	59,6	250,3	Cu	CuO	34,9	146,5
Mn	MnO	93,1	391,0	Ni	NiO	58,7	247,3	Pb	PbO ₂	32,2	135,2
K	K ₂ O	86,2	362,0	Co	CoO	57,5	241,5	S	SO ₃	31,3	131,4
Mn	Mn ₂ O ₄	84,1	353,2	Sb	Sb ₂ O ₃	55,8	234,3	C	CO	26,4	110,8
Zn	ZnO	83,4	350,1								

При пользовании справочными таблицами необходимо иметь в виду, что величина тепловых эффектов реакций и теплот образования химических соединений зависит от агрегатного состояния реагирующих веществ.

Переход из одного агрегатного состояния в другое сопровождается поглощением или выделением скрытой теплоты, что изменяет тепловой эффект.

Согласно закону Гесса тепловой эффект реакции при постоянной температуре не зависит от того, каким путем исходные вещества переходят в конечные, а зависит только от начального и конечного состояний веществ, принимающих участие в реакции.

Для вычисления по закону Гесса неизвестного теплового эффекта реакции выбирают такой путь реакции, чтобы в конечном результате получились заданные продукты реакции и были известны теплоты образования участвующих веществ.

На основании этого можно считать, что тепловой эффект любой сложной реакции равен алгебраической сумме произведений теплот образования 1 моля каждого химического соединения, принимающего в ней участие, на число молей этого соединения. Теплоты образования исходных соединений принимают со знаком, обратным табличному, а теплоты образования продуктов реакции — со знаком, обратным табличному.

Если в таблице приведены не теплоты образования, а соответствующие им величины изменения теплосодержания (энтальпии), то следует иметь в виду, что

$$\bar{Q}_o = -\Delta H.$$

Теплоту образования многих химических соединений и тепловые эффекты некоторых реакций можно найти в справочных таблицах.

В справочнике «Термические константы неорганических веществ» приведены значения ΔH^0 (теплосодержаний) для различных веществ. ΔH^0 означает изменение теплосодержания, сопровождающее реакцию образования 1 моля данного вещества из элементов в их стандартных состояниях. За стандартное состояние элементов принято то физическое состояние, в котором элемент обычно существует при давлении в 1 ат ($\sim 0,1$ Мн/м²) и при температуре 18° С.

Для того чтобы подсчитать изменение теплосодержания в каком-либо процессе по этим таблицам, следует сложить величины ΔH^0 продуктов реакции в конечных состояниях и из полученного результата вычесть сумму величин ΔH^0 веществ, вступающих в реакцию.

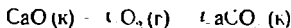
Так, для реакции:

$$\begin{aligned} \text{CaO (к)} + \text{CO}_2 (\text{г}) &= \text{CaCO}_3 (\text{к}); \\ \epsilon H_{\text{кон}}^0 - \Delta H_{\text{CaCO}_3}^0 (\text{к}) &= -283,53 \text{ ккал} (-1185,35 \text{ кдж}); \\ \epsilon H_{\text{нач}}^0 \quad \Delta H_{\text{CaO}}^0 (\text{к}) + \Delta H_{\text{CO}_2}^0 (\text{г}) &= 151,7 - 94,03 = \\ &= -245,73 \text{ ккал} (-1030,23 \text{ кдж}); \\ \Delta H = \epsilon H_{\text{кон}}^0 - \epsilon H_{\text{нач}}^0 &= 283,53 - (-245,73) \\ &= -37,80 \text{ ккал} (-158 \text{ кдж}). \end{aligned}$$

Тепловой эффект реакции равен изменению теплосодержания, взятому с обратным знаком, т. е.

$$\bar{Q}_p = \Delta H,$$

или в данном случае тепловой эффект $\bar{Q}_p$ реакции



равен + 37,80 ккал (+158 000 дж).

Кроме величины H , часто пользуются величиной G — изобарного термодинамического потенциала.

Изобарный термодинамический потенциал определяется уравнением:

$$G = H - TS,$$

где T — абсолютная температура реакции, ° К;

S — энтропия системы, кал/° К (дж/° К).

Если процесс протекает при постоянных p и T , то изменение изобарного потенциала:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S.$$

Для бесконечно малого изменения

$$dG = dH - TdS.$$

Изменение изобарного потенциала, взятое с обратным знаком, есть *максимальная работа процесса* (при постоянном давлении), т. е.

$$A'_{\max} = -\Delta G.$$

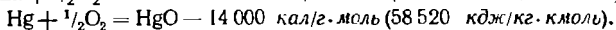
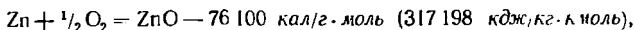
Изобарный термодинамический потенциал называют *свободной энергией* (при постоянном давлении).

Термодинамические потенциалы являются весьма важными характеристиками, по которым судят о возможности и направленности процесса.

Процессы (или реакции) идут всегда в сторону максимальной работы, так как:

$$\Delta G = -A'_{\max}.$$

Так, для реакций образования ZnO и HgO изменение изобарного потенциала составляет



Так как уменьшение свободной энергии или, что то же самое, увеличение максимальной работы в случае образования 1 моля окиси цинка больше, чем при образовании 1 моля окиси ртути, то реакция образования окиси цинка идет энергичнее, чем реакция образования окиси ртути при прочих равных условиях.

Наоборот, обратный процесс — диссоциация этих окислов — идет в обратной последовательности, т. е. энергичнее диссоциирует окись ртути и при меньшей затрате максимальной работы, чем в случае диссоциации окиси цинка.

Следует иметь в виду, что величина и знак термодинамического потенциала, хотя и свидетельствуют о направленности процесса, однако не говорят о его скорости.

В металлургических расчетах наибольшее значение имеет определение изобарного потенциала, так как чаще всего металлургические процессы протекают при давлениях, мало отличающихся от атмосферного и которые принимаются неизменными.

Расчет величины изобарного потенциала G .

а) По константе равновесия реакции. ΔG связано с константой равновесия уравнением

$$\Delta G = RT \ln K,$$

где R — универсальная газовая постоянная, равная приблизительно 2 кал (моль · град) [8372 дж/(моль град)];

T — абсолютная температура, при которой проводилось определение константы равновесия реакции, K ;

K — константа равновесия реакции.

Переходя от натурального логарифма к десятичному, получаем:

$$\Delta G = -4,576 T \lg K.$$

Определив опытным путем константу равновесия реакции при температуре T , затем рассчитывают изменение изобарного потенциала реакции при данной температуре.

б) По уравнению

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S,$$

где ΔH — изменение теплосодержания реакции, кал (дж);

ΔS — изменение энтропии реакции (разность суммы энтропий продуктов реакции и исходных веществ, вступивших в реакцию), кал° К (дж° К).

в) Путем комбинирования уравнений химических реакций, для которых известны ΔG .

Расчет ΔG этим способом аналогичен расчету тепловых эффектов путем комбинирования уравнений химических реакций.

Для некоторых веществ значения свободных энергий даны в различных справочных руководствах. Обычно значения ΔG приведены к стандартным условиям: комнатной температуре (18, 20 или 25° С) и давлению в 1 атм.

Зная значения ΔH^0 и S , по уравнению

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

легко рассчитать значение ΔG при стандартных условиях.

При плавке цветных металлов и сплавов в литейном производстве большое значение имеют процессы окисления. Это объясняется тем, что при плавке обычных цветных металлов атмосфера печей носит явно окислительный характер, т. е. содержит свободный кислород (при плавке в электрических печах) или CO_2 и H_2O (при плавке в топливных печах). От активности окислительных процессов зависит не только потери дорогих цветных металлов, но и качество получаемого жидкого металла.

Вероятность и интенсивность окисления того или иного элемента, находящегося в данном расплаве, всегда бывает различной и зависит от так называемого сродства этого элемента к кислороду. Термодинамически сродство элементов к кислороду определяется величиной изобарного потенциала ΔG , т. е. величиной свободной энергии, выделяющейся при образовании окисла данного элемента. Чем больше величина изобарного потенциала ΔG , тем больше сродство данного элемента к кислороду и тем больше вероятность его окисления.

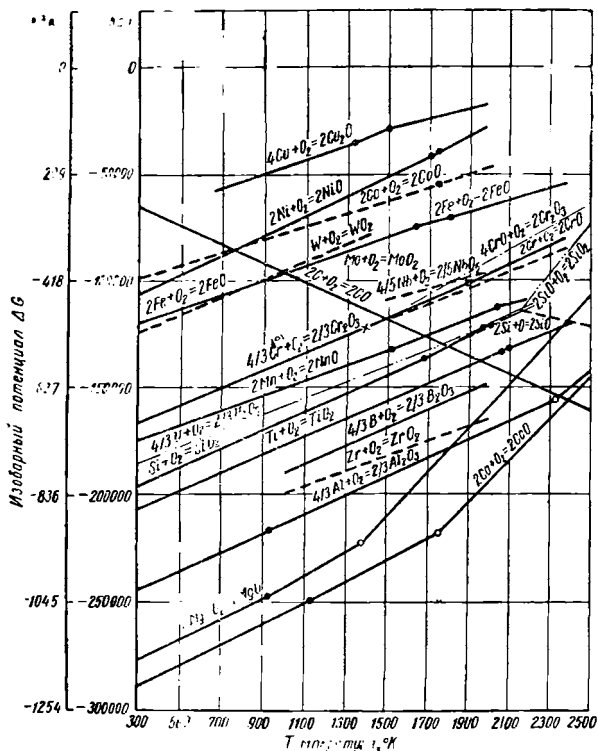


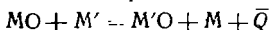
Рис. 1. Изменение химического сродства элементов к кислороду (изобарного потенциала) в зависимости от температуры

На рис. 1 показано изменение химического сродства различных элементов к кислороду в зависимости от температуры. Чем выше сродство какого-либо элемента к кислороду, тем с большим понижением изобарного потенциала образуется его оксид, тем более отрицательное значение имеет величина ΔG . На рисунке видно, что элементы, из которых состоят легкие литейные сплавы (алюминий и магний) обладают наибольшим сродством к кислороду, в то время как медь относится к числу элементов, обладающих сравнительно малым сродством к кислороду. Цинк обладает меньшим

сродством к кислороду, чем магний и алюминий, но большим, чем медь. Как будет видно из дальнейшего изложения, порядок сродства элементов к кислороду в значительной мере определяет весь процесс плавки цветных металлов.

На основе понятия сродства элементов к кислороду базируется процесс раскисления металлов, широко применяемый в металлургической практике.

Термодинамический анализ реакции



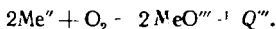
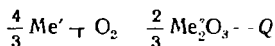
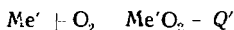
показывает, что она может протекать только в том случае, если элемент M^1 , применяемый в качестве раскислителя, обладает большим сродством к кислороду, чем элемент M , входящий в состав оксида MO , т. е. величина ΔG_O оксида элемента M^1 обладает большим отрицательным значением, чем величина ΔG_O оксида элемента M .

Из сказанного ранее также вытекает, что реакция раскисления обязательно сопровождается положительным тепловым эффектом $+\bar{Q}$.

При плавке алюминиевых и магниевых сплавов процессы раскисления практически не наблюдаются, так как эти элементы обладают наибольшим сродством к кислороду. При плавке медных сплавов элементы цинк, марганец, фосфор и др. являются хорошими раскислителями окислов меди.

Те же вопросы могут быть рассмотрены с точки зрения теории упругости диссоциации окислов металлов.

Реакции окисления различных металлов можно написать следующим образом:



При участии в реакциях твердых металлов и окислов или расплавов чистых металлов константа равновесия для всех этих реакций, т. е. для реакций, рассчитанных на один грамм-атом кислорода, будет

$$K = p_{O_2}.$$

Физически величина p_{O_2} представляет собой давление кислорода при выделении его из оксида во время диссоциации.

Реакция диссоциации оксида обратима. Если парциальное давление кислорода в окружающей атмосфере больше упругости диссоциации оксида, то реакция идет слева направо. Если больше

величина упругости диссоциации, то реакция идет справа налево, т. е. происходит освобождение оксида от кислорода.

Если в расплаве имеется несколько металлов и их концентрация одинакова, то в первую очередь будут окисляться те из них, величина упругости диссоциации оксидов которых меньше. Кроме того, в расплавах металлов величина упругости диссоциации их оксидов будет тем меньше, чем больше их концентрация в расплаве. Следовательно, энергичнее будут окисляться металлы, концентрация которых больше, и менее энергично — концентрация которых меньше.

Чем больше величина упругости диссоциации оксида металла, тем он труднее окисляется. Следовательно, меньше его сродство к кислороду. Наоборот, чем меньше величина упругости диссоциации оксида, тем легче он окисляется и, следовательно, тем больше его сродство к кислороду.

Общезвестный расчет величины упругости диссоциации оксидов металлов показывает, что чем больше теплота образования данного оксида, рассчитанная на один грамм-атом кислорода, тем меньше величина упругости диссоциации оксида и, следовательно, тем больше сродство металла к кислороду.

Таким образом, выводы, которые можно сделать из теории упругости диссоциации оксидов, полностью совпадают с выводами, вытекающими из зависимости сродства металлов к кислороду от теплоты образования оксида, рассчитанной на один грамм-атом кислорода. Эти теплоты образования были приведены выше в табл. 1.

§ 3. КИНЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССА ПЛАВКИ

При кинетическом анализе процессов плавки исследуются возможные скорости протекания химических реакций. Под скоростью химической реакции понимается количество вещества, прореагировавшее в единицу времени в единице объема. Обычно количество вещества измеряется молями, а объем — литрами.

Все реакции делятся на гомогенные и гетерогенные. Если все вещества, участвующие в данной реакции (как начальные, так и конечные), находятся в одной и той же фазе, то реакция считается гомогенной. Если же хотя бы какая-то часть веществ (начальных или конечных) переходит в процессе реакции из одной фазы в другую, то реакция считается гетерогенной.

При этом надо иметь в виду, что так как все газы растворяются друг в друге, то, следовательно, можно считать, что в данной системе одновременно может присутствовать только одна газовая фаза.

В соответствии с законом Дальтона — общее давление газовой смеси равно сумме парциальных давлений отдельных газов, входящих в эту смесь — число одновременно присутствующих

щих жидких фаз зависят от числа несмешивающихся жидкостей. При плавке металлов обычно присутствуют две самостоятельные жидкие фазы — металл и шлак, — не смешивающиеся друг с другом. При этом отдельные вещества могут растворяться как в той, так и в другой жидкой фазе. Количество вещества, растворенного в металле, и количество вещества, растворенного в шлаке, взаимосвязаны законом распределения — если какое-либо вещество растворимо в двух несмешивающихся жидкостях, то отношение концентраций этого вещества в этих жидкостях есть величина постоянная

$$L = \frac{C_1}{C_2} = \text{const},$$

где L — коэффициент распределения, зависящий от свойств жидких фаз и растворенного в них вещества;

C_1 — концентрация вещества в верхней жидкой фазе (шлаке);

C_2 — концентрация вещества в нижней жидкой фазе (металле).

Например, SiO_2 растворима в шлаке и металле, следовательно, при данной температуре

$$L = \frac{C_{\text{SiO}_2 \text{ в шлаке}}}{C_{\text{SiO}_2 \text{ в металле}}} = \text{const}.$$

Количество твердых фаз, одновременно присутствующих в системе, обычно равно количеству самостоятельных веществ и может численно равняться любой величине. Исключением являются лишь так называемые твердые растворы. Случаи образования твердых растворов рассматриваются ниже в связи с диаграммами плавкости литейных цветных сплавов.

Все реакции делятся на обратимые и необратимые. Обратимыми реакциями называются такие реакции, при протекании которых все конечные продукты остаются в данной системе, не уходя из нее. Если хотя бы один продукт реакции уходит из данной системы, реакция становится необратимой.

Величина скорости гомогенной реакции подчиняется закону действующих масс — скорость химической реакции прямо пропорциональна температуре и концентрации реагирующих веществ. Допустим, протекает реакция:



Так как эта реакция гомогенна, то все начальные и конечные вещества находятся в одной и той же фазе, не уходя из нее. Такая реакция будет обратимой. Скорость протекания этой реакции слева направо $v_1 = k_1 A^a B^b$, а справа налево $v_2 = k_2 C^c D^d$.

Если $v_1 > v_2$, то результирующая скорость $v_p = v_1 - v_2$ будет величиной положительной и, следовательно, результирующая реакция будет протекать слева направо.

Если $v_1 \neq 0$, результирующая скорость $v_p = v_1 - v_2$ будет отрицательной; это означает, что результирующая реакция будет протекать справа налево.

Если $v_1 = 0$, то $v_p = 0$. Это значит, что в системе протекают две противоположно направленные реакции с одинаковой скоростью. Такое состояние системы называется *состоянием динамического равновесия*. Коэффициенты k_1 и k_2 являются функциями температуры и называются *температурными коэффициентами химической реакции*. Оба коэффициента k_1 и k_2 увеличиваются с ростом температуры. Коэффициент k_1 является *температурным коэффициентом экзотермической реакции*, а коэффициент k_2 является *температурным коэффициентом эндотермической реакции*. Для каждой реакции коэффициенты k_1 и k_2 численно не равны друг другу, и при этом коэффициент k_2 растет с температурой во много раз быстрее, чем коэффициент k_1 . При температурах, приближающихся к абсолютному нулю, коэффициенты k_1 и k_2 стремятся к нулю и, следовательно, v_1 и v_2 , а также и v_p , будут стремиться к нулю. Такое состояние системы носит название *статического равновесия*.

Состояние динамического равновесия, как было сказано, определяется условием равенства скорости прямой и обратной реакции. Если протекает реакция $A + B \rightleftharpoons C + D + \bar{Q}$, то в состоянии динамического равновесия

$$k_1 |A| |B| = k_2 |C| |D|,$$

где $|A|$, $|B|$, $|C|$ и $|D|$ — молярные концентрации реагирующих веществ.

Из приведенного уравнения находим величину константы равновесия:

$$K = \frac{k_2}{k_1} = \frac{|A| |B|}{|C| |D|}.$$

При условии принятого здесь порядка написания константы и положительном тепловом эффекте реакции ее величина выражается уравнением Вант Гоффа:

$$\frac{d \ln K}{dT} = \frac{\bar{Q}}{RT^2}.$$

Правая часть этого уравнения является первой производной от логарифма константы по температуре. При положительном тепловом эффекте реакции первая производная будет иметь знак $+$ и, следовательно, функция будет возрастающей. Отсюда, с ростом температуры константа всегда будет увеличиваться.

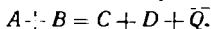
При $T = \text{const}$ $k_1 = \text{const}$, $k_2 = \text{const}$, следовательно, и $K = \text{const}$. С ростом температуры растет величина константы равновесия, следовательно, равновесие химической реакции сдвигается в сторону числителя, т. е. в сторону увеличения концентрации веществ A и B и уменьшения концентрации веществ C и D .

При понижении температуры величина K уменьшается и, следовательно, равновесие сдвигается в сторону увеличения концентрации веществ C и D и уменьшения концентрации веществ A и B .

Принципы Ле Шателье полностью согласуются с выводом из уравнения Вант Гоффа. Согласно принципам Ле Шателье, если нагревать систему, находящуюся в состоянии равновесия, то в ней возникнет реакция, идущая с поглощением тепла. Если охлаждать систему, находящуюся в состоянии равновесия, то в ней возникнет реакция, идущая с выделением тепла.

Таким образом, принципы Ле Шателье правильно трактуют влияние температуры на систему, находящуюся в состоянии динамического равновесия. Как правило, при плавке металлов, мы не имеем равновесных систем, а к неравновесным системам принципы Ле Шателье неприменимы.

Скорости всех химических реакций как экзотермических, так и эндотермических, растут с ростом температур в результате роста температурных коэффициентов k_1 и k_2 и, как говорилось выше, k_2 увеличивается с ростом температуры быстрее, чем k_1 . Значит, скорость эндотермической реакции с ростом температуры возрастает быстрее, чем экзотермической. Кроме того, с повышением температуры растет величина константы равновесия. Это означает, что с ростом температуры сдвигается влево равновесное состояние системы. Эти положения иллюстрируются рис. 2. По оси абсцисс диаграммы отложены концентрации веществ A , B , C и D , а по вертикальной оси — температура системы. Кривая LM показывает изменение концентрации равновесной системы в зависимости от ее температуры. Если при температуре t_1 взята система, состоящая из веществ A , B , C и D , соответствующая концентрации в точке x , то, как видно из диаграммы, эта система не является равновесной. Равновесие взятой системы при температуре t_1 соответствует точке x_1 , т. е. с гораздо большим содержанием веществ C и D . Это значит, что в системе возникнет реакция



Практически это значит, что в любой точке области I будет возникать экзотермическая реакция. Если мы возьмем нашу систему при температуре t_2 и концентрации, соответствующей точке y , то в системе возникнет реакция

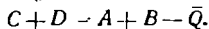


Рис. 2. Зависимость изменения положения точки динамического равновесия обратной системы от температуры

Эта реакция закончится, когда концентрация веществ A и B настолько увеличится, а концентрация веществ C и D настолько уменьшится, что химический состав системы изменится до точки y_1 . В любой точке области II возникнет эндотермическая реакция, которая будет протекать до тех пор, пока состав системы не станет равновесным. Проследим за влиянием температуры на экзотермическую систему состава, соответствующего вертикальной линии aa . В точке a возникнет реакция, идущая слева направо в сторону роста концентрации C и D . «Выход» реакции, т. е. количество вещества, прореагировавшее до наступления состояния равновесия, будет равен длине прямого отрезка от точки a вправо до кривой равновесия.

Из диаграммы видно, что с повышением температуры системы в области I выход экзотермической реакции будет уменьшаться. Наоборот, в области II , где протекают эндотермические реакции, с повышением температуры системы выход реакции будет увеличиваться. Отсюда можно вывести принцип I :

При повышении температуры неравновесной системы, в которой протекает экзотермическая реакция, выход реакции до наступления состояния равновесия уменьшается. При повышении температуры неравновесной системы, в которой протекает эндотермическая реакция, выход реакции увеличивается.

На рис. 3 показано влияние температуры на величину скорости результирующей реакции. На горизонтальной линии $T_0 T$ отложена температура в градусах Кельвина. Кверху от этой линии отложена величина положительной результирующей скорости, а книзу — величина отрицательной результирующей скорости. Точка T_0 соответствует состоянию статического равновесия, а точка $T_{\text{равновес}}$ — состоянию динамического равновесия. Между этими

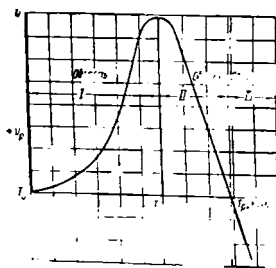


Рис. 3. Зависимость изменения величины результирующей скорости от температуры

точками кривая расположена выше горизонтальной оси, следовательно, здесь происходят экзотермические реакции. Правее точки $T_{\text{равновес}}$ кривая расположена ниже горизонтальной оси, значит, здесь протекают эндотермические реакции. Вся диаграмма делится на три различных области: в области I (вдали от динамического равновесия), где протекает экзотермическая реакция с повышением температуры неравновесной системы, увеличивается результирующая скорость обратного процесса от 0 до максимума; в области II (вблизи динамического равновесия), где также протекает экзотер-

мическая реакция, с ростом температуры падает результирующая скорость обратимого процесса и в области III, где протекает эндотермическая реакция, влияние температуры на результирующую скорость обратимого процесса однозначно. С ростом температуры скорость результирующей эндотермической реакции всегда увеличивается.

На основании вышесказанного можно вывести принцип II:

При повышении температуры результирующая скорость экзотермической реакции сначала значительно увеличивается, затем вблизи равновесия резко падает до нуля, а при дальнейшем повышении температуры меняет свое направление. Дальнейшее повышение температуры приводит к росту результирующей скорости эндотермической реакции.

На основании закона действующих масс можно сделать следующий вывод о возможности влияния на направление обратимого процесса с помощью изменения концентрации реагирующих веществ.

Для увеличения скорости результирующей реакции, направленной слева направо, необходимо увеличить концентрацию одного и из нескольких веществ, стоящих слева от знака равенства, или уменьшить концентрацию одного или нескольких веществ, стоящих справа от знака равенства.

Для увеличения скорости результирующей реакции, направленной справа налево, необходимо увеличить концентрацию одного или нескольких веществ, стоящих справа от знака равенства, или уменьшить концентрацию одного или нескольких веществ, стоящих слева от знака равенства.

В процессе плавки цветных металлов протекает большое количество гетерогенных реакций. К их числу относятся реакции между атмосферой печи (газовая фаза) и плавящимся (твердая фаза) или расплавленным (жидкая фаза) металлом и шлаком. Протекают реакции между двумя жидкими фазами (шлаком и металлом) и реакции между жидкими фазами (шлаком и металлом) и твердой фазой (футеровкой печи). Во всех случаях протекания гетерогенных реакций реагирующие вещества путем диффузии должны перейти из одной фазы в другую, если речь идет о реакциях между жидкими фазами, или прийти в соприкосновение с поверхностью раздела другой фазы, когда происходят реакции между газообразными и жидкими или твердыми фазами, а также между жидкими и твердыми фазами.

Все эти процессы переноса молекул реагирующих веществ из одной фазы в другую или к поверхности другой фазы происходят исключительно диффузионным путем. Следовательно, скорость химической реакции может оказаться в зависимости от скорости протекания процесса диффузии. Если скорость диффузии оказывается меньше, чем возможная скорость химической реакции, что особенно часто бывает при экзотермических реакциях, и, следовательно, скорость реакции лимитируется скоростью процесса диф-

фузии, то считается, что реакция протекает в диффузионной области гетерогенного процесса.

В ряде случаев может оказаться, что путем диффузии к поверхности раздела или в другую фазу доставляется достаточное количество молекул, чтобы обеспечить ход реакции, тогда скорость самой реакции зависит только от кинетических условий ее протекания. Если реакция эндотермическая, то считается, что реакция протекает в кинетической области гетерогенного процесса.

Если реакция протекает в диффузионной области гетерогенного процесса, то на скорость реакции оказывает влияние скорость диффузии. Процесс диффузии через газообразную фазу в установившемся состоянии протекает в соответствии с уравнением Фика:

$$S = D \frac{c_1 - c_2}{a} F \tau,$$

где S — количество вещества (кг), переданного за τ сек через слой вещества толщиной a см (м) на реагирующую поверхность F , см^2 (м^2);

D — коэффициент диффузии, $\text{см}^2/\text{сек}$ ($\text{м}^2/\text{сек}$);

c_1 и c_2 — концентрации диффундирующего газообразного вещества ($\text{г}/\text{см}^3$) ($\text{кг}/\text{м}^3$) на границах слоя толщиной a см (м).

Коэффициент диффузии $D = kT^n$ является функцией температуры, где n находится в пределах от 1,75 до 2,0.

На основании сказанного можно сделать вывод, что скорость диффузии через газообразную фазу прямо пропорциональна температуре этой фазы и разности концентраций диффундирующего газа и обратно пропорциональна толщине слоя, через который происходит процесс диффузии.

Процесс диффузии через жидкую фазу в установившемся состоянии можно представить в виде уравнения зависимости коэффициента от свойств жидкости и диффундирующего вещества:

$$D = \frac{RT}{N} \cdot \frac{1}{6\pi\eta r},$$

где R — газовая постоянная, $\text{кал}/\text{моль} \cdot \text{град}$ ($\text{дж}/\text{кмоль} \cdot \text{град}$);

T — абсолютная температура, $^\circ\text{K}$;

N — число Авогадро, моль^{-1} (кмоль^{-1});

τ — отношение длины окружности к диаметру;

η — коэффициент вязкости жидкости, $\text{см}^2/\text{сек}$ ($\text{м}^2/\text{сек}$);

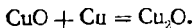
r — радиус молекулы диффундирующего вещества, см (м).

Дополнительно к отмеченному выше, последняя формула показывает, что количество продиффундировавшего через жидкость вещества будет тем больше, чем выше температура среды и чем меньше ее вязкость и радиус молекулы диффундирующего вещества.

В качестве примера гетерогенного процесса рассмотрим окисление отдельных частей сплава на медной основе.

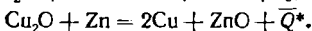
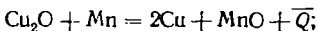
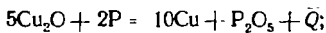
В период наполнения шихты за счет окислительного воздействия газовой фазы может происходить окисление твердого ме-

талла с образованием на его поверхности CuO (окиси меди) и окислов тех элементов, которые входят в состав шихты. После расплавления шихта окажется покрытой слоем шлака, содержащего высокий процент окиси меди. Соприкасаясь на поверхности раздела шлак — металл с медью, находящейся в расплаве, окись меди будет восстанавливаться до закиси по реакции:



Закись меди будет диффундировать в металл (рис. 4), подчиняясь описанному выше закону распределения. Если бы закись меди, диффундирующая в металл, не расходовалась, то установилось бы равновесие при определенной концентрации CuO в шлаке и Cu_2O в металле (сплошные линии на рис. 4).

Но закись меди встречает в металле ряд элементов, сродство которых к кислороду, согласно рис. 1, больше, чем сродство меди. Поэтому закись меди будет расходоваться на реакции с этими элементами. Например:



Если бы эти реакции дошли до состояния динамического равновесия, то в металле наряду с новыми полученными окислами сохранилась бы известная равновесная концентрация закиси меди $\text{Cu}_2\text{O}_{\text{равновес}}$, показанная на рис. 4 вертикальной пунктирной линией. Практически такое равновесие не устанавливается, если на поверхности металла не наведен защитный шлак. Если защитного шлака нет, то в металл продолжает диффундировать закись меди, концентрация которой в металле будет убывать по мере удаления от поверхности раздела металл — шлак из-за расходования закиси меди на указанные выше реакции. При этом концентрация закиси меди в металле будет выше равновесной (нижняя пунктирная кривая) в случае, если скорость диффузии будет выше суммарной скорости реакции восстановления закиси меди примесями сплава. Если же скорость диффузии будет ниже суммарной скорости реакции восстановления закиси меди, то концентрация ее упадет до равновесной на близком расстоянии от поверхности раздела металл — шлак (верхняя пунктирная кривая).

* Для упрощения величина $\bar{Q}$ далее будет обозначаться через Q , т. е. без знака наверху.

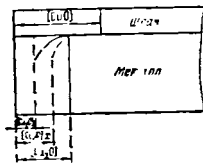


Рис. 4 Распределение закиси меди между металлом и шлаком

Перед выходом металла из печи из него желательно удалить остатки закиси меди путем раскисления. Для этого необходимо использовать элементы, имеющие большее сродство к кислороду так, чтобы равновесие резко сдвинулось вправо, что достигается путем введения в ванну соответствующих раскислителей.

§ 4. РАСТВОРЕНИЕ ГАЗОВ В МЕТАЛЛАХ

Твердые и, особенно, жидкие металлы содержат в себе значительное количество растворенных газов. Основная масса газов растворяется в металлах при взаимодействии жидкого сплава с атмосферой печи или цеха. Металл растворяет в себе газы в процессе расплавления шихты, после расплавления при наличии незащищенной шлаками поверхности жидкого металла в ванне, а также при сливе металла из печи в ковш и из ковша в форму.

Растворение газов в металлах состоит из трех последовательных процессов: адсорбции, т. е. концентрации газов на поверхности металла, диффузии газа вглубь металла и адсорбции, т. е. растворения газа в металле.

В процессе адсорбции молекулы различных газов поглощаются поверхностью металла. Количество адсорбированного газа на поверхности металла зависит от свойств самого металла и его температуры, а также от состава и давления газовой фазы, находящейся в соприкосновении с поверхностью металла.

Как и в случае обратимых химических реакций, при адсорбции газов одновременно происходят два противоположных процесса. Поверхность металла адсорбирует молекулы газа и одновременно происходит отрыв молекул газа от поверхности металла (десорбция). Степень адсорбции определяется равновесием между конденсацией и улетучиванием молекул.

Различают физическую адсорбцию, являющуюся результатом действия сил Ван-дер-Ваальса и хемосорбцию, или активизированную адсорбцию, являющуюся результатом образования химических связей.

Физическая адсорбция может быть выражена уравнением адсорбционной изотермы Лангмюра:

$$\lambda = \frac{K_1 K_2 p}{1 + K_1 p},$$

где λ — масса всего адсорбированного газа, г (кг);

$$K_1 = \frac{ah}{v},$$

a — часть случайно конденсирующихся молекул;

h — коэффициент пропорциональности;

v — скорость улетучивания с поверхности, полностью покрытой адсорбированными молекулами, см/сек (м/сек);

$$K_2 = qn,$$

q — масса адсорбированного газа на единицу поверхности, $г (кг)$;

n — поверхность твердого тела, $см^2 (м^2)$;

p — парциальное давление газа, $ат (н/м^2)$.

Физическая адсорбция происходит только при низких температурах, с повышением температуры физическая адсорбция понижается, и при высоких температурах ею можно пренебречь.

При физической адсорбции все газы адсорбируются приблизительно одинаково и адсорбция зависит в основном от парциального давления газа и состояния поверхности.

При температурах выше нуля адсорбирование газов металлами носит избирательный характер. Инертные газы не адсорбируются при высоких температурах. Точно так же, при температурах выше нуля такие металлы, как золото и серебро, не адсорбируют газы. Газы и металлы, не способные к химическим взаимодействиям, не могут при высоких температурах адсорбироваться и служить адсорбентами. Особенностью хемосорбции (активизированной адсорбции) является необратимость этого процесса, когда адсорбированный газ не в состоянии улетучиться с поверхности металла или сплава при понижении температуры.

Из числа литейных сплавов особенно активно с газами реагирует алюминий. Расплавленный алюминий, не защищенный пленкой шлака, обладает высокой химической активностью по отношению к газам печной атмосферы. Термодинамические расчеты показывают, что даже при ничтожно малых парциальных давлениях кислорода, углекислого газа и водяных паров будет активно идти окисление металла. В конечном счете это привело бы к полному окислению всей ванны. Однако поверхность алюминия при соприкосновении с печными газами мгновенно покрывается пленкой окиси алюминия, которая постепенно утолщается и все более эффективно защищает металл от реакций с газами. Однако к этому времени металл может значительно насытиться газом.

Вместе с тем ряд исследователей указывают, что пленка, состоящая из окислов алюминия, при температурах плавильной печи является газопроницаемой и гигроскопичной для водяных паров. Вот почему главным источником водорода, растворяющегося в алюминии и его сплавах, являются водяные пары.

Реакция протекает следующим образом:

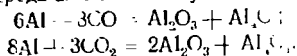


Освободившийся водород поглощается металлом. Даже при парциальном давлении водяных паров в атмосфере печи, равном $0,01 ат (0,001 Мн/м^2)$, происходит большое насыщение металла водородом.

Источниками водяных паров в атмосфере печи могут быть продукты горения водородосодержащего топлива, влага воздуха, влага, адсорбированная металлом шихты, влага футеровки и т. д.

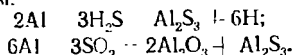
Химическая реакция алюминия с азотом происходит при температурах, которые практически не достигаются при его плавке. Поэтому азот не растворяется в алюминии.

С оксидами углерода алюминий вступает в следующие реакции:



При этом образуются карбиды и окись алюминия. Однако эти реакции сколько-либо заметно протекают лишь при температурах выше 900° С, т. е. при условиях, которые практически можно не учитывать.

Сероводород и сернистый ангидрид вступают в следующие реакции с алюминием.



Эти реакции протекают преимущественно при температурах более 800° С. Образовавшиеся сульфиды практически не растворимы в металле, но способствуют понижению плотности поверхностной пленки и тем самым усилению растворения водорода металлом.

Газы, адсорбированные на поверхности, проникают внутрь твердого или жидкого металла исключительно в атомарном состоянии. Это проникновение газов внутрь металла называется диффузией. Скорость диффузии быстро возрастает с повышением температуры. Например, при диффузии водорода внутрь металла проникают не молекулы водорода H_2 , а его атомы.

Следовательно, перед диффузией происходит диссоциация молекул водорода на самостоятельные активизированные атомы.

Процессы диффузии и адсорбции тесно взаимосвязаны друг с другом, и, следовательно, в конечном итоге диффузия газов внутрь металлов зависит от давления газов над поверхностью металла. Зависимость растворимости газа S от парциального давления газа может быть выражена уравнением:

$$S = K \sqrt{p},$$

где K — коэффициент пропорциональности.

Если над поверхностью металла находится смесь газов, то каждый газ растворяется самостоятельно в зависимости от его парциального давления.

В результате диффузии газы попадают во внутренние слои металла (сплава) и часть атомов газа остается там. Подобное поглощение газов металлами (сплавами) называется растворением или адсорбцией. Основные факторы, влияющие на растворение газов в металлах и сплавах (помимо химической природы газов и металлов) — это температура и давление.

Как правило, растворимость газов в твердых и жидких металлах увеличивается с температурой, следовательно, если в процессе плавки в жидком металле растворилось значительное количество

газа, то при охлаждении этого сплава способность его растворять газы заметно уменьшается. Особенно резкое падение растворимости газов отмечается в момент перехода сплава из жидкого состояния в твердое, т. е. в момент кристаллизации. Если способность растворять газы с понижением температуры металла окажется меньше фактического количества газа, которое было растворено в данном сплаве при более высокой температуре, то излишняя часть газов будет удаляться из раствора и образовывать самостоятельную газовую фазу в виде мелких или крупных пузырьков. Газы, оставшиеся в твердом растворе после затвердевания металла, практически не влияют на механические свойства металла.

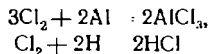
§ 5. УДАЛЕНИЕ ГАЗОВ, ТВЕРДЫХ ОКИСЛОВ И ДРУГИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ИЗ РАСПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА

Как говорилось выше, количество газов, растворяющихся в расплаве, прямо пропорционально парциальному давлению этих газов в газовой смеси, соприкасающейся с поверхностью жидкого металла.

На основе этой зависимости разработаны методы очищения алюминиевых расплавов от растворенного в них водорода путем пропускания через расплав пузырьков какого-либо другого газа, практически не растворяющегося в этом расплаве. Так как давление водорода в пузырьках пропускаемого через расплав газа равно или приближается к нулю, то это равносильно тому, что поверхность жидкого металла граничит с вакуумом. В этот вакуум, т. е. в пузырек газа, в котором нет водорода, устремляется водород, растворенный в металле. При продувке расплава практически нерастворимыми в нем газами его можно хорошо очистить от водорода.

На практике применяют химически активный газ — хлор, или химически нейтральный газ — азот, аргон и др.

При продувке алюминиевого расплава хлором он не только поглощает водород из расплава, но и вступает в следующие химические реакции:



Образовавшиеся в результате этих реакций AlCl_3 и HCl в виде пузырьков пара, пронизывая расплав, поглощают водород.

В процессе приготовления алюминиевых сплавов жидкий металл загрязняется оксидами алюминия и другими неметаллическими включениями. Удельный вес этих включений, как правило, меньше удельного веса самого сплава, и поэтому эти включения стремятся всплыть на поверхность металла.

Скорость всплывания этих включений, как и скорость всплывания пузырьков газа, зависит от разности удельных весов всплывающих частиц и самого металла, от вязкости металла, от размеров всплывающих частиц и может быть определена по формуле Стокса

$$V = \frac{2r^2(\gamma_1 - \gamma_2)}{9g\eta}$$

где r — радиус пузырьков, см (м);

$\gamma_1 - \gamma_2$ — разность относительных весов газа и металла (сплава), г/см³ (кг/м³);

g — ускорение силы тяжести, см/сек² (м/сек²);

η — коэффициент вязкости металла или сплава, см²/сек (м²/сек).

Газовые пузырьки, а также окислы, которые из-за низкой температуры плавления остаются жидкими, при движении через жидкий металл укрупняются (коагулируют). По закону Стокса, скорость всплывания частиц пропорциональна квадрату их радиуса, поэтому укрупнившиеся частицы легко и быстро удаляются из металла. В отличие от этого, образовавшиеся в металле окислы алюминия (Al_2O_3) вследствие высокой температуры плавления находятся в металле в твердом виде и поэтому при столкновении не укрупняются (не коагулируют), что значительно замедляет скорость их всплывания.

Процесс удаления неметаллических включений можно ускорить путем продувки металла газами. Газ в виде пузырьков, поднимаясь вверх, сквозь толщу металла встречает на своем пути окислы и другие неметаллические включения, находящиеся во взвешенном состоянии в металле. При встрече с пузырьками газа окислы будут прилипать к ним и выноситься на поверхность. Этот процесс называется **флотацией**.

Флотация основана на свойстве гидрофобных (не смачиваемых водой) соединений прилипать к находящимся в расплаве пузырькам газа. Способность твердых неметаллических частиц прилипать к поверхности пузырьков газа носит название **адгезии**. Прочность адгезии характеризуется усилием, необходимым для того, чтобы оторвать прилипшую частицу от пузырька газа.

Такой метод применяется при очищении от окислов алюминиевых сплавов, которые продувают хлором, азотом или аргоном.

§ 6. РАСКИСЛЕНИЕ

Одним из способов освобождения жидкого металла от растворимых и нерастворимых в нем окислов является **раскисление** (восстановление окислов специальными раскислителями).

Выше упоминалось, что чем большим средством к кислороду обладает элемент, тем больше тепла выделяется при образовании окисла.

В табл. I были приведены элементы, расположенные в порядке убывания их сродства к кислороду и по уменьшению теплоты образования окислов.

Пользуясь данными этой таблицы, можно подобрать необходимый раскислитель или заранее определить, в какие реакции вступает элемент в процессе плавки.

Реакция раскисления сопровождается выделением тепла Q , равным разности между теплотой образования оксида раскислителя RO и оксида металла MeO , которую можно представить в виде уравнения:



где R — раскислитель;

Me — металл, восстановленный из оксида.

Константа равновесия реакции раскисления

$$K = \frac{[MeO][R]}{[RO]}.$$

Направление реакции определяется упругостью диссоциации участвующих в ней соединений.

Чем выше упругость диссоциации, тем меньше теплота образования оксидов, тем дальше отстоят окислы по упругости диссоциации и по теплоте образования, тем энергичней окисел с большей упругостью диссоциации восстанавливается элементом, окисел которого обладает меньшей упругостью диссоциации.

Из приведенного уравнения следует, что раскисление будет тем интенсивней и полней, чем меньше концентрация оксида раскислителя RO в раскисляемом металле и сплаве и чем больше концентрация самого раскислителя R .

Таким образом, для полноты раскисления необходимо выбирать такие раскислители, которые обладают большим сродством к кислороду, т. е. низкой упругостью диссоциации оксида.

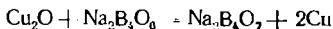
Раскислители разделяются на растворимые в металле и поверхностные.

Раскислители, частично остающиеся в жидком металле, не должны вредно влиять на свойства металла. Окислы раскислителя не должны растворяться в металле; они должны легко всплывать в шлак или испаряться.

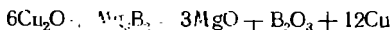
При плавке цветных металлов и сплавов в качестве раскислителей чаще всего применяются компоненты, входящие в состав сплава или допускаемые в виде примесей.

К способу восстановления относится также раскисление сплава поверхностными раскислителями. В этом случае реакция раскисления протекает медленней, так как раскислители не вводятся в расплавленный металл, а даются на его поверхность. Поверхностные раскислители не оказывают вредного влияния на качество металла, так как их избыток не растворяется в металле.

Примером такого раскисления может служить восстановление окиси меди борным шлаком по реакции:



или



Таким образом, к раскислителям предъявляются следующие основные требования:

а) упругость диссоциации окислов раскислителя, образующихся в результате раскисления, должна быть значительно ниже упругости диссоциации окислов раскисляемого металла;

б) образующиеся в результате раскисления окислы RO не должны растворяться в металле;

в) образующиеся после раскисления окислы раскислителя должны легко удаляться из жидкого металла — всплывать в шлак или испаряться;

г) небольшие количества раскислителя, остающиеся в жидком металле, не должны оказывать вредного влияния на его свойства.

В качестве раскислителей в цветной металлургии (для раскисления меди, никеля и их сплавов) применяются: фосфор, цинк, марганец, кремний, титан, алюминий, магний, кадмий, литий, кальций и др.

В качестве поверхностных раскислителей применяются: борит магния (Mg_2B_2), карбид кальция (CaC_2), борный шлак ($Na_2B_4O_7$) и др.

Из-за большого сродства алюминия и магния к кислороду, их раскисление практически не производится.

§ 7. ФЛЮСОВАНИЕ

Применяемые при плавке цветных металлов и сплавов разнообразные по составу и значению флюсы служат одной цели — повышению выхода годного и чистоте расплава.

В производстве цветных металлов и сплавов применяются флюсы для защиты металлического расплава от воздействия печной атмосферы, удаления из расплава окислов, сульфидов и других вредных примесей.

По своему назначению и оказываемому воздействию на металл все флюсы подразделяются на: *пассивные (покровные или защитные), рафинирующие (очистные) и модифицирующие* (при плавке легких сплавов).

По химическому составу они подразделяются на *кислые, нейтральные и основные*.

О защитном и рафинирующем действии флюсов, тщательно исследованных и проверенных на практике, подробно излагается в соответствующих главах книги (III, IV и V).

Неактивные (пассивные) флюсы предохраняют металл и сплавы от охлаждения, окисления и газонасыщения, активные флюсы предохраняют от охлаждения с поверхности и, частично, от проникновения газов, а также от окислов и загрязнений, которые растворяются во флюсе.

В состав рафинирующих флюсов входят химически активные вещества, растворяющие вредные примеси в соединениях, не растворимых в жидком металле.

При рафинировании медных сплавов чаще используется принцип избирательного окисления (окислительного рафинирования), когда вредная примесь переводится в окисное соединение. В этом случае химически активной составляющей флюса является окисное соединение, вступающее в обменную реакцию с извлекаемой примесью.

С целью избежания в процессе рафинирования потерь основных компонентов сплавов, упругость диссоциации химически активной составляющей флюса должна быть меньше упругости диссоциации окислов компонентов и больше упругости диссоциации окислов вредных примесей.

Избирательное или окислительное рафинирование основано на большем сродстве к кислороду примесей, чем очищаемого металла, и на меньшей упругости диссоциации окислов примесей по сравнению с окислами рафинируемого металла. Вследствие разницы удельных весов окислы примесей всплывают на поверхность или оседают на дно ванны, или находятся во взвешенном состоянии.

В зависимости от этих удельных весов применяется один из трех методов флюсования: верхнее, нижнее или по всей массе металла (общее, смешанное).

Эти методы основаны на том, что мелкораздробленные частицы окислов вследствие разных удельных весов располагаются в объеме жидкого металла неравномерно. Если окислы будут легче жидкого металла, то они будут располагаться в верхних слоях металла (рис. 5, а). В этом случае рафинирующие флюсы также должны быть легче жидкого металла.

Если частицы окислов будут тяжелее жидкого металла, то они будут располагаться в нижних слоях металла (рис. 5, б). При нижнем флюсовании удельный вес флюса должен быть выше удельного веса расплава.

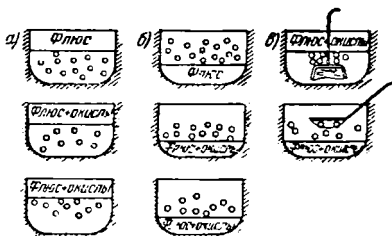
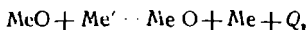
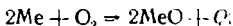


Рис. 5. Схема рафинирования (удаления окислов) флюсованием:

Флюсование по всей массе расплава (общее, смешанное) осуществляется легкими и тяжелыми флюсами (рис. 5, в).

Окислы основного металла растворяются в жидком металле и отдают свой кислород примесям при реакции:



где Me — металл;

Me — примесь,

Q — теплота реакции.

При каждой определенной температуре существует такое соотношение между упругостью диссоциации оксидов примесей (Me'O) и упругостью диссоциации оксидов основного металла, которое определяется константой равновесия

$$K_c = \frac{[MeO][Me']}{[Me][Me'O]}, \text{ где } [Me] = \text{const.}$$

Тогда

$$K_c = \frac{[MeO][Me']}{[Me'O]}. \quad (1)$$

В случае, если Me'O не растворим или очень мало растворим в основном металле, можно принять $Me'O = \text{const.}$

Тогда

$$K_c = [MeO][Me']. \quad (2)$$

Из уравнений (1) и (2) следует, что

$$[Me'] = K_c \frac{[Me'O]}{[MeO]}$$

или

$$[Me'] = \frac{K_c}{[MeO]},$$

т. е. при прочих равных условиях концентрация примеси (Me') является функцией концентрации оксидов металла (MeO) и оксидов примесей Me'O в ванне. При этом, чем меньше растворимость оксида примеси в металле и чем больше растворимость в нем самого оксида металла, тем лучше идет процесс окислительного рафинирования, а чем меньше разница в упругостях диссоциации (MeO) и (Me'O), тем хуже протекает процесс окислительного рафинирования примесей.

Упругость диссоциации оксида примеси повышается с уменьшением ее концентрации, поэтому затрудняется окисление примеси.

В практике рафинирования одновременно выгорают все примеси, но в разной степени сильнее окисляются примеси, имеющие меньшую упругость диссоциации оксида, слабей — примеси, имеющие большую упругость диссоциации оксида.

Для рафинирования расплавов, помимо солей, применяются различные инертные и химически активные газы, действие которых основано на адсорбции и диффузии пузырьков газа в расплав с пропорциональными в нем газами (водородом), поскольку один газ по закону Дальтона растворяется в объеме другого, как в пустоте. Все методы рафинирования расплавов газами построены по одной принципиальной схеме: введение или образование в расплаве газа, выделение пузырьков этого газа на поверхность, адсорбция рафинируемых газов, других газов и твердых неметаллических включений и удаление их из расплава.

§ 8. МОДИФИЦИРОВАНИЕ

Анализ действия различных модификаторов на процесс кристаллизации технических металлов и сплавов подробно изложен в трудах П. А. Ребиндера, В. Д. Кузнецова, В. К. Семенченко и др. авторов.

И все же общей теории модифицирования нет. Существуют различные теории процесса модифицирования алюминий-кремниевых сплавов, которые в основном сводятся к теории переохлаждения, адсорбционно-коллоидной теории и теории образования сплава.

Сторонники теории переохлаждения рассматривают понижение температуры кристаллизации эвтектики алюминий-кремневых сплавов после введения натрия, как процесс, при котором температура кристаллизации перед началом затвердевания не повышается, вследствие чего кристаллизация протекает быстро, образуя дисперсную структуру.

По одним предположениям, натрий обволакивает частицы окиси алюминия, находящиеся в расплаве, изолируя тем самым их действие как центров кристаллизации, по другим — переохлаждение объясняют обволакиванием натрием кристаллов кремния в эвтектике, в результате чего рост кристаллов затормаживается.

Существует также мнение, что натрий уменьшает поверхностное натяжение на границе раздела жидкой и твердой фаз, что дает возможность алюминий-кремниевым кристаллам захватывать частицы кремния, мешая их росту, вследствие чего эвтектика «переохлаждается» и тем самым способствует получению сплава с дисперсной структурой.

Сущность коллоидно-адсорбционной теории состоит в том, что натрий ограничивает рост кристаллов коллоидного кремния, выделяющегося из жидкости, а коллоидные частицы натрия механически препятствуют росту кристаллического натрия или что защитная пленка, состоящая из кремния, алюминия и натрия, обволакивает частицы кремния, мешая их росту.

По другим предположениям, натрий адсорбируется на поверхности возникающих кристаллов алюминия и препятствует тем самым их росту.

Сущность теории образования модифицированного сплава сводится к диаграмме $Al - Si - Na$, образующей эвтектику, содержащую в основном натрий, который изолирует частицы кремния из расплава, затрудняя их рост. в результате чего возникают дополнительные центры кристаллизации, способствующие образованию мелкокристаллической структуры алюминий-кремневых сплавов.

В соответствии со сказанным выше все модификаторы можно разделить на две группы:

1 группа — модификаторы, образующие в расплаве высокодисперсную или коллоидно-дисперсную взвесь, где отдельные частицы

являются зародышами, вокруг которых образуются и растут кристаллы.

II группа — модификаторы, действие которых на расплав сводится к адсорбированию поверхностно-активных молекул этих модификаторов на гранях зародившихся кристалликов и снижению их роста, что приводит к увеличению числа центров кристаллизации и получению мелкозернистой структуры.

Алюминиево-кремниевые сплавы с высоким (свыше 6%) содержанием кремния (АЛ2, АЛ4, АЛ4В, АЛ9, АЛ9В и др.) после рафинирования, как правило, подвергаются модифицированию, методы которого различаются по способу введения в расплав натрия:

а) модифицирование металлическим натрием;

б) модифицирование смесью галогенных солей натрия и калия.

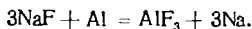
Модифицирование может производиться двойным или тройным модификатором, а также универсальным флюсом, сочетающим модифицирующее и рафинирующее воздействие на расплав (табл. 2).

Таблица 2

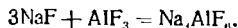
Модификаторы для алюминиево-кремниевых сплавов (по М. Б. Альтману), %

Ф л ю с ы	NaF	NaCl	KCl	Na ₂ AlF ₆	Температура модифициро- вания, °C
Двойной	67	33	—	—	800—810
Тройной	25	62,5	12,5	—	725—740
Универсальный флюс №1	60	25	—	15	800—810
Универсальный флюс №2	40	45	—	15	730—750
Универсальный флюс №3	30	50	10	10	720—740

Химизм модифицирования смесью солей состоит в реакции выделения натрия по уравнению:



Фтористый алюминий соединяется с избытком фтористого натрия модификатора, способствуя образованию криолита по реакции:



Подробно о приготовлении и применении универсального флюса см. главу IV.

Многолетней практикой, по данным М. Б. Альтмана, установлено, что применение двойных и тройных модификаторов менее желательно, так как после рафинирования металл вновь насыщается водородом и загрязняется оксидами алюминия. Он рекомендует применение универсального флюса, сочетающего рафинирующие и модифицирующие свойства или проводить рафинирование в вакууме после модифицирования.

Влияние на них добавок модификаторов и ультразвука на структуру и свойства литых металлов и сплавов подробно излагается ниже.

Для модифицирования медных сплавов применяются цирконий, железо, титан.

Добавка 0,1% циркония вызывает наибольший эффект изменения зерна меди.

Совместные добавки 0,1 — 0,3% Ti и 0,03% В или 0,2% Fe и 0,03% В способствуют более сильному измельчению зерна, чем добавки этих элементов в тех же количествах порознь.

Измельчения зерен магниевых сплавов, содержащих алюминий, можно достигнуть введением в расплав веществ, содержащих углерод.

Модифицирование магниевых сплавов с целью измельчения структуры и повышения механических свойств производится путем применения различных модификаторов.

Модификаторами для магниевых сплавов являются:

а) магнезит ($MgCO_3$), просушенный при температуре 150 — 200°C до содержания влаги не более 1%, кусками размером 10 — 25 мм;

б) мел или мрамор ($CaCO_3$), просушенный при температуре 150 — 200°C до содержания влаги не более 1%, размолотый и просеянный через сито с размером отверстий 0,2 — 0,5 мм;

в) гексахлорэтан, взамен мела или мрамора, в количестве 0,1 — 0,25% от веса шихты.

С этой целью применяется также четыреххлористый углерод, карбид кальция и др.

После модифицирования все сплавы выдерживаются в течение 8 — 10 мин.

§ 9. ВЛИЯНИЕ МАЛЫХ ДОБАВОК И УЛЬТРАЗВУКА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Одним из способов повышения прочности сплавов является модифицирование путем введения в жидкий расплав малых добавок элементов, обеспечивающих при последующей кристаллизации формирование мелкозернистой структуры.

М. Ф. Никитин и В. Г. Анташев* изучено модифицирующее влияние малых добавок тантала, циркония и молибдена из сплав АЛ8, предварительно обработанный фторцирконатом калия в зависимости от содержания в нем магния.

Относительно природы модифицирования алюминий-магние-вых сплавов существуют различные мнения. Некоторые считают, что модифицирующие добавки, в частности цирконий, тантал и молибден, образуют с алюминием интерметаллические соединения

* М. Ф. Никитин и В. Г. Анташев. Исследование модифицирования сплава АЛ8 малыми добавками циркония, тантала и молибдена. Производство отливок из легких сплавов. Труды МАИ, № 63, «Машиностроение», 1965.

ZrAl₃, TaAl₃ и MoAl₃. Первично кристаллизующиеся соединения основного металла и добавляемого элемента, выпадая из расплава в мелкодисперсном состоянии, действуют как дополнительные центры кристаллизации за счет образования готовых поверхностей раздела фаз.

В работе Л. Кубичека и М. В. Мальцева* установлено, что при введении в сплавы алюминия с магнием (10,2% Mg) небольших добавок натрия, кальция, свинца, циркония, бора, молибдена, тантала и некоторых других элементов значительно измельчается β -фаза (Mg₂Al₃). Модифицирование этими элементами приводит к образованию сильно разветвленных дендритов твердого раствора с тонким распределением в них β -фазы. Разветвленность дендритов, по мнению авторов, объясняется процессом адсорбции модификатора по поверхности растущих кристаллов (в случае растворимых добавок) или блокированием дендритов при подводе к ним питающей жидкости (в случае нерастворимых добавок).

В работе М. Ф. Никитина и В. Г. Анташева было также замечено утонение частиц β -фазы в структуре сплава АЛ8, модифицированного добавками циркония и молибдена. Они считают, что модифицирующие добавки влияют на обе стадии процесса кристаллизации, образование центров кристаллизации и их рост.

Сплав АЛ8 приготавливали из алюминия марок А00 и АВ000 и магния Mg1. После расплавления алюминия и его перегрева до 720°C с поверхности расплава снимали окисную пленку и засыпали фторцирконат калия (в количестве 1% от веса шихты). Выдержка — 5 — 7 мин. Фторцирконат калия реагировал с алюминием и продукт реакции — фторид алюминия — покрывал тонкой твердой пленкой поверхность жидкого металла. Затем вводили магний и сплав тщательно перемешивали. Тантал и молибден вводились в виде лигатур Al — Ta и Al — Mo. Лигатуры приготавливали в высоко-частотной печи в графитовом тигле. При этом алюминий перегревали до 1500°C, так как тантал в алюминии растворяется медленно. Для приготовления лигатур использовали листы тантала. Содержание тантала в лигатуре 3 — 4%.

Молибден в алюминии растворяется легко. Лигатуру приготавливали из расчета 5 — 6% молибдена. После растворения лигатуры и перемешивания расплава зеркало металла очищали от шлака и окисной пленки. На поверхность жидкого сплава засыпали фторцирконат калия. После выдержки в течение 5 — 7 мин под покровом фторцирконата калия продукты его взаимодействия с расплавом снимали и на поверхности ванны засыпали карналитовый флюс. Затем вводили магний и ванну тщательно перемешивали.

Заливку производили при температуре 680°C. Алюминий с танталом образуют интерметаллические соединения TaAl₃. При этом было отмечено, что эффект измельчения зерна был тем выше,

* Л. Кубичек и М. В. Мальцев. «Литейное производство», № 5 1959

чем больше магния содержалось в сплаве АЛ8. Так, при содержании магния 9, 5, 10,5 и 11,5% число зерен на 1 мм^2 соответственно увеличивалось (127, 132 и 168).

Введение тантала в количестве 0,08 — 0,12% совместно с обработкой расплава фторцирконатом калия обеспечивает измельчение кристаллического зерна и повышение механических свойств сплава.

Наибольший эффект измельчения зерна танталом и цирконием соответствует содержанию в сплаве 11,5% магния.

Алюминий с молибденом образует интерметаллическое соединение MoAl_3 . По аналогии с танталом модифицирование молибденом проводилось совместно с цирконием. Введение 0,08 — 0,12% молибдена в сплав АЛ8 обеспечивает наиболее высокие механические свойства. Предел прочности возрастает до 43 кг/мм^2 (421 Мн/мм^2), предел текучести — до 21 кг/мм^2 (206 Мн/мм^2) и относительное удлинение — до 22%. Эффект модифицирования тем выше, чем больше магния содержится в сплаве АЛ8.

По экономическим соображениям, предпочтение следует отдать молибдену, так как по сравнению с танталом, он менее дефицитен и значительно дешевле.

Модифицирование сплава АЛ8 малыми добавками циркония, тантала или молибдена не только улучшает механические свойства сплава в закаленном состоянии, но способствует стабилизации механических свойств в условиях длительного хранения изделий из сплава АЛ8.

Для измельчения зерна оловянных бронз В. М. Чурсиным исследовались добавки некоторых тугоплавких элементов: железа, никеля, хрома, кобальта, титана, циркония, бора, ниобия и др.

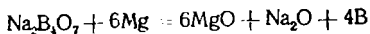
Все присадки вводили в бронзы непосредственно перед заливкой или с шихтой в виде лигатур этих элементов на основе меди. При этом не допускалось содержание алюминия и кремния даже в очень малых количествах, так как известно, что примеси этих элементов в сотых и даже тысячных долях процента (например, алюминия в количестве 0,005%) резко снижают механические свойства оловянных бронз и их герметичность.

Большинство лигатур, за исключением медь — бор и медь — цирконий, готовили обычным сплавлением чистых металлов при высоких температурах.

Более сложные лигатуры с бором и цирконием изготовляли путем восстановления бора и циркония из буры ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) и фторцирконата калия (K_2ZrF_6) магнием.

Лигатуры медь — бор готовили следующим образом. Предварительно готовили промежуточный сплав медь — магний (60% : 40%) и удаляли влагу из буры путем прокалывания (переплавки). Затем лигатуру медь — магний и плавленную бурю дробили до размеров кусков 2—3 мм, равномерно перемешивали и сплавляли в электропечи сопротивления в графитошамотовом тигле при температуре 1450 — 1500°C. Буры расходовалось в 6 раз больше магния, содержащегося в сплаве медь — магний.

Реакция сплавления буры с магнием:



Окись магния растворялась в буре, образуя бораты, а бор сплавлялся с медью.

Аналогично готовили лигатуру медь — цирконий из фторцирконата калия.

Исследования проводили на бронзах марок Бр.ОЦ10-2, Бр.ОЦ8-4, Бр.ОЦ5-5-5 и др.

В результате исследований установлено, что наиболее эффективными измельчающими присадками в оловянных бронзах являются цирконий (0,01 — 0,3%) и бор (0,03 — 0,06%). Значительно слабее действует титан.

В малых количествах титан почти не влияет на измельчение зерна и только при содержании его свыше 0,2% наблюдается более значительное измельчение зерна. Совместные присадки 0,1 — 0,3% титана и 0,03% бора, 0,2% железа и 0,03% бора способствуют измельчению зерна значительно сильнее, чем добавки этих элементов в тех же количествах порознь.

Измельчающее действие добавок примерно одинаково проявлялось на бронзах всех исследуемых марок.

Железо, никель и хром в небольших количествах практически не оказывали заметного влияния на изменение размера зерна и только при введении их в расплав в количестве 1 — 2,5% происходило измельчение зерна. Кобальт в количестве до 1% также не оказывал влияния на величину зерна. Наличие малых добавок в сплаве определяли химическим и спектральным анализом.

Для получения стабильных результатов от измельчающего действия добавок необходимо не допускать повышенного окисления, газонасыщения и перегрева сплава. При введении в Бр.ОЦ10-2 циркония и бора до 0,03% предел прочности повышается примерно на 5 — 15%. Несколько повышается химическая стойкость этих сплавов в агрессивных средах.

М. В. Мальцевым проводились опыты по применению в алюминии и его сплавах в качестве модифицирующих присадок тугоплавких металлов: титана, циркония, ванадия, тантала, ниобия, хрома, молибдена, вольфрама и бора.

Для сплавов, не содержащих алюминий (Бр.ОЦ6-6-3, Бр.Б2, Лб8 и др.), применялось комплексное введение добавок указанных металлов совместно с бором, имея в виду создание необходимых центров кристаллизации за счет образования тугоплавких боридов. Все добавки присаживались в виде соответствующих лигатур: для сплавов, содержащих алюминий, в виде двойных алюминиевых лигатур, с содержанием 3 — 5% элемента; для оловянных и бериллиевых бронз применялись медные лигатуры.

Лигатуры готовили алюмотермическим методом или по методу обменной реакции из соответствующих окислов металлов и их солей.

Опыты показали, что при введении многих из перечисленных добавок наблюдается сильное измельчение зерна в отливках и практически полностью устраняется зональность в их строении.

В сплавах алюминия и алюминиевых бронзах существенное влияние на измельчение зерна оказывают примеси железа. В алюминиевых бронзах заметное измельчение зерна наблюдается при содержании не менее 0,1 — 0,2 % железа.

В результате этих опытов установлено, что при подборе модифицирующих добавок необходимо, чтобы

а) вводимая добавка образовывала химическое соединение с легкоплавкой примесью сплава;

б) образующееся химическое соединение кристаллизовалось раньше, чем основное зерно сплава или при температуре не ниже температуры горячей обработки соответствующего сплава;

в) вводимые добавки не образовывали твердых растворов и химических соединений с компонентами сплава.

Основными руководящими материалами в подборе таких добавок в первом приближении могут служить диаграммы состояния, характеризующие взаимодействие примеси с добавкой.

Измельчение зерна магниевых сплавов является одной из важнейших задач в области совершенствования технологии получения литья высокого качества.

Известно, что чушки первичного магния, как и сплавы магния с марганцем: МА1, МЛ2, МА8 и др., обладают крупнокристаллической структурой, которая способствует ухудшению герметичности отливок и образованию трещин на слитках при горячей обработке.

Известно также, что сплавы магния с цирконием (МЛ12, ВМ65-1) и сплавы магния с алюминием и цинком (МЛ5, МА2 МА2-1) обладают мелкой структурой и высокими прочностными свойствами, благодаря включению в технологию производства (сплав МЛ5) обязательной операции модифицирования, с целью измельчения зерна (путем перегрева расплава до 850 — 900°C либо введения различных модификаторов).

Однако в сплавах, не содержащих алюминия, добиться измельчения этими методами не удастся.

Поэтому была предпринята попытка измельчения зерна сплавов системы магний — марганец путем введения малых добавок и воздействия упругими колебаниями.

Были исследованы такие модификаторы, которые увеличивают количество центров кристаллизации, так как образуют дисперсную или коллоидно-дисперсную взвесь, отдельные частицы которой являются зародышами.

К числу таких модификаторов относятся: цирконий, гафний, церий, молибден. При проведении плавки со сплавами МА1 (1,3 —

2,5% Мп, остальное Mg) и МА8 (1,55 — 2,3% Мп, 0,15 — 0,35% Се, остальное Mg) с введением этих добавок в количестве до 0,1% — не были получены положительные результаты.

Скорость роста кристаллов может быть изменена введением поверхностно-активных добавок, способных образовывать на поверхности зарождающихся кристалликов тонкие пленки, которые экранируют кристаллы от питающей жидкости и замедляют их рост.

Замедление роста кристаллов увеличивает время от начала возникновения кристаллов до полного затвердевания, что создает условия для появления большого количества центров кристаллизации и обеспечивает получение мелкокристаллической структуры.

К группе поверхностно-активных модификаторов относятся щелочные и щелочноземельные металлы: литий, кальций, стронций, барий.

Опыты, проведенные с добавкой этих элементов к сплавам МА1 и МА8 в количестве до 0,1%, дали положительный эффект в течение 15 — 20 мин, но затем эффект исчезал, что, очевидно, было связано с выгоранием модифицирующих добавок.

В последнее время в лаборатории кристаллизации института металловедения и физики металлов ЦНИИчермета проведены работы, результаты которых подтвердили возможность измельчения структуры тяжелых сплавов при воздействии упругими колебаниями, особенно при совместном воздействии упругими колебаниями и модификаторами.

КОНСТРУКЦИИ ПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ ДЛЯ ПЛАВКИ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

К плавильным печам для плавки цветных металлов и сплавов предъявляются высокие технологические и теплотехнические требования.

В соответствии с особенностями работы литейных цехов плавильные печи подразделяются на *периодические* и *непрерывно-действующие*.

В зависимости от источника энергии все типы печей, в свою очередь, подразделяются на *топливные* и *электрические*.

В современных цветнолитейных цехах все большее распространение получают электрические печи, обладающие рядом преимуществ, к числу которых относятся:

1) лучшие санитарно-гигиенические условия труда, вследствие отсутствия продуктов сгорания топлива, загрязняющих атмосферу цеха;

2) значительно более высокий к.п.д. и повышенное качество металла;

3) минимальные потери металла на угар и возможность ведения процесса плавки в вакууме или в атмосфере защитного газа.

Плавильные печи должны обеспечивать минимальную продолжительность плавки, необходимую температуру и атмосферу (восстановительную, окислительную или нейтральную) плавильного пространства, минимальные потери металла на угар, минимальный расход топлива или электроэнергии и повышенную удельную производительность.

В действующих литейных цехах цветного литья установлены самые разнообразные плавильные агрегаты, которые можно подразделить на следующие основные группы:

I группа - различные тигельные и котловые топливные печи.

II группа - пламенные отражательные топливные печи ванного типа, нашедшие применение, главным образом, для переплавки стружки и крупногабаритного лома.

III группа - электрические печи сопротивления для плавки и рафинирования алюминия и его сплавов.

IV группа - индукционные печи (высокочастотные и низкочастотные) сердечниковые и бессердечниковые для плавки металлов и сплавов.

§ 1. ТОПЛИВНЫЕ ПЕЧИ

При применении любого вида топлива теплоносителем могут являться как продукты его горения, так и само горящее топливо.

По методу передачи тепла нагреваемому металлу различают:

1. Топливные печи, в которых нагреваемый металл не соприкасается с топливом и продуктами его горения.

К этой группе печей относятся различные тигельные и котловые плавильные печи.

В них нагрев металла осуществляется методом теплопроводности стенок тигля или котла.

Для тиглей, выполняемых из шамота или графита, улучшение теплопередачи обычно достигается путем максимально возможного уменьшения их толщины. При плавке легкоплавких сплавов применяют металлические тигли вместо графитовых или тигли из огнеупорных материалов, а также металлические котлы.

Кроме того, интенсификация наружного обогрева тиглей или котлов достигается, главным образом, за счет лучеиспускания пламени жидкого или газообразного топлива, омывающего тигли, а при нагреве тиглей твердым топливом — за счет лучеиспускания твердого горящего топлива.

2. Топливные печи, в которых нагреваемый металл соприкасается с факелом пламени и с продуктами горения и не соприкасается с топливом.

К этой группе печей относятся все ванны плавильные печи. Такие плавильные печи называются *пламенными*, так как при относительно высоких температурах пламени в этих печах большое значение имеет процесс передачи тепла от пламени к нагреваемому металлу.

В рабочем пространстве пламенных печей продукты горения топлива отдают свое тепло нагреваемому металлу, стенам и своду печи путем лучеиспускания и конвекции. Часть тепла от свода и стен отражается внутрь печи и нагревает металл. Поэтому эти печи называют *отражательными*.

Металл в них нагревается за счет: а) конвекционного потока тепла от движущихся газов, б) лучеиспускания газов и свечения пламени, в) лучеиспускания стен и свода печи.

Первый поток (конвекционный) имеет большое значение лишь при температурах менее 600 — 700 °C (в сушилах). Количество переданного тепла таким методом пропорционально коэффициенту передачи тепла конвекцией, зависящему от скорости газового потока и разности температур газа и нагреваемого металла в первой степени.

Второй поток (лучеиспускание газов и свечение пламени) и третий поток (лучеиспускание стен и свода) имеют большое значе-

ние лишь при температуре пламени более 700°C и пропорциональны разности температур газа, стен и нагреваемого металла в четвертой степени.

Чисто газовое излучение зависит от содержания в топочном газе излучающих трехатомных газов (CO_2 и H_2O) и от толщины слоя газа. Свечение пламени зависит от наличия в нем твердых сажистых частиц, появляющихся в результате термического разложения тяжелых углеводородов в процессе их горения. Пламя, образующееся при горении мазута, обладает поэтому большей светимостью, чем пламя, образующееся при горении газов.

Тигельные и котловые печи

В цветнолитейных цехах с малым масштабом производства с успехом применяются тигельные печи. Кроме того, тигельные печи применяются в крупных цехах как подсобные для приготовления лигатур и реже—в цехах с серийным производством для приготовления рабочего сплава. При малых масштабах производства до сих пор применяются тигельные стационарные и поворотные печи.

В тигельных печах металл плавится в графитовых тиглях, изготовленных из смеси шамота, измельченного кокса, тигельного боя и графита.

К старым типам стационарных печей относятся коксовые горны круглой или квадратной формы глубиной 1000—1500 мм. Стенки такого горна выложены из обычного красного кирпича (внешний слой) и огнеупорных кирпичей (внутренний слой). Форма шахты горна бывает различной и зависит от количества тиглей, загружаемых в шахту. При одном тигле шахта имеет круглую или квадратную форму, при двух тиглях — прямоугольную или эллипсоидальную.

По сравнению с круглым или эллипсоидальным квадратное и прямоугольное сечения являются более простыми, но менее экономичными, так как в углах шахты образуются «мертвые» пространства, заполненные топливом, теплота которого при сгорании не используется. В нижней части шахты имеется чугунная колосниковая решетка, отделяющая ее от зольника. Низ горна под колосниковой решеткой (зольник) устроен таким образом, чтобы обеспечить легкое удаление золы, а также подачу воздуха, необходимого для горения кокса. Тигель ставят на огнеупорную подставку, расположенную на колосниковой решетке. Вокруг тиглей засыпается кокс, который при горении нагревает тигли.

Воздух, необходимый для сжигания твердого топлива (кокса, антрацита, древесного угля), вводится в горн естественной тягой дымовой трубы (самодувный горн, рис. 6) или нагнетается с помощью вентилятора (горн с искусственным дутьем, рис. 7). Продукты горения удаляются в верхней части горна через боковое окно дымовую трубу. Сверху шахта горна закрывается крышкой.

лестой или чугуновой), облицованной огнеупорным кирпичом. Через отверстие в центре крышки производят перемешивание

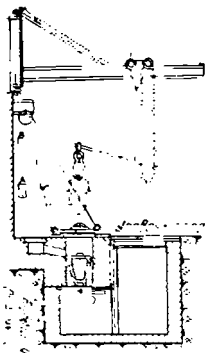


Рис. 6. Самодувный горн с естественной тягой

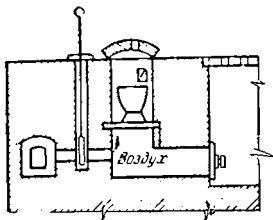


Рис. 7. Коксовый горн с воздушным дутьем

сплава. Для удобства работы с тиглем шахту горна иногда устраивают таким образом, чтобы верхняя часть ее была немного (до 0,75 м) выше уровня пола цеха. Соотношение между диаметром шахты и ее высотой обычно составляет от 1:1,5 до 1:2. Такие примитивные тигельные печи применяются довольно редко, хотя и встречаются в цехах с весьма малым масштабом производства.

Тигельные печи преимущественно применяются в условиях мелких мастерских, так как производительность их по сравнению с прочими печами невысокая. Топливо используется в них плохо, к.п.д. тигельных печей в лучшем случае составляет 0,07 — 0,1; особенно велики потери тепла с отходящими газами.

Наряду с этими недостатками тигельные печи имеют и преимущества: универсальность, маневренность и минимальную поверхность соприкосновения металла с печными газами, что положительно сказывается на качестве расплава.

Из всех типов поворотных тигельных печей, работающих с подогревом от топлива, для плавки алюминия наибольшее распространение получили поворотные тигельные печи с мазутным или газовым отоплением, с отводом продуктов горения через отдельные боровы. Они обычно применяются с чугуновыми литыми тиглями, хотя можно встретить поворотные тигельные печи и с графитовыми тиглями.

Эти печи типа «Колеман» (рис. 8) состоят из железного кожуха, футерованного изнутри огнеупорным кирпичом с асбестовой прокладкой. В кожух сверху встав-

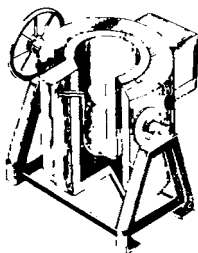


Рис. 8. Поворотная тигельная печь с мазутным отоплением

ляется чугунный или графитовый тигель. Поворот печи осуществляется при помощи штурвала. Сбоку к нижней части кожуха подведена форсунка или газовая горелка. Топочное пространство (камера сгорания) находится под тиглем. Продукты горения поднимаются вверх, омывают тигель, нагревают его и выходят через отверстие в кожухе печи в боров, а оттуда в трубу. Над печью помещается зонт. Графитовые тигли выдерживают меньшее количество плавок, чем чугунные, но преимуществом их является то, что сплав не загрязняется железом.

Плавка магниевых сплавов обычно производится в тигельных печах со стальными, литыми или сварными тиглями.

Пламенные печи

Плавка металла в пламенных печах производится на поду, который выкладывается в виде чаши из огнеупорного материала.

Разогрев металла в пламенных печах происходит за счет непосредственного соприкосновения с газами и теплом, излучаемым раскаленными стенками и сводом печи.

Такой характер передачи тепла металлу позволяет значительно полнее использовать топливо по сравнению с тигельными печами. К. п. д. пламенных печей колеблется в пределах $0,14 \div 0,24$. Их производительность выше тигельных печей.

Непосредственное соприкосновение печных газов с большой поверхностью металла является одним из недостатков пламенных печей, так как способствует насыщению металла газами и повышает потери на угар.

В цветнолитейных цехах для плавки цветных сплавов применяют в основном печи, работающие на жидком и газообразном топливе.

Общим недостатком всех пламенных печей является повышенный угар металла под воздействием пламени.

Как и тигельные печи, все пламенные печи можно разделить на стационарные и поворотные.

К числу стационарных пламенных печей, применяющихся для плавки медных сплавов, относится печь «Эконом-плав». Низкое расположение свода над ванной печи (рис. 9) способствует омыванию металла пламенем. Газы из рабочего пространства опускаются по вертикальным каналам в нижний боров, присоединенный к дымоходу.

Вся печь заключена в железный кожух. Отапливается — мазутом. Камера сгорания может быть снята для ремонта. Загрузка производится через рабочее окно, выпуск металла — через дутье. Емкость печей — 160, 350 и 750 кг. Удельный расход мазута — $12 \div 15\%$ от веса металла в первой плавке и $7 \div 10\%$ — в последующие. Продолжительность плавки — 1 — 1,5 часа. Угар металла составляет в среднем 7% .

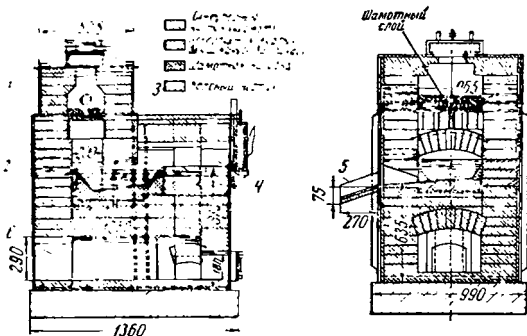


Рис. 9. Пламенная печь «Экономплав»:

1 — камера сгорания; 2 — ванна; 3 — форсунка; 4 — рабочее окно; 5 — летка; 6 — дымоход

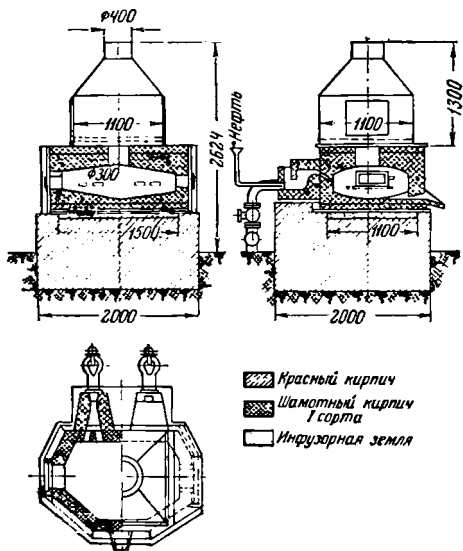


Рис. 10. Пламенная печь системы Георгадзе

Для плавки медных сплавов применяется также пламенная печь системы Георгадзе (рис. 10).

Основные элементы конструкции: железный кожух, выложенный шамотным кирпичом с прослойками кокса, инфузорной земли и асбеста, две камеры сгорания с форсунками низкого давления, верхний зонт, посаженный на кожух и переходящий в дымовую трубу.

Плавильное пространство в вертикальном сечении представляет собой эллипс, в горизонтальном — многогранник. Конструктивные размеры печи изменяются в зависимости от требуемой производительности.

Печь отапливается мазутом. Удельный расход топлива — около 12% при первой плавке (включая разогрев печи) и около 9% при последующих. Угар бронзы — около 3%.

К числу поворотных пламенных печей, широко применяющихся для плавки цветных сплавов, относятся печи типа «Мечта» (рис. 11). Цилиндрические поворотные пламенные печи типа «Мечта» с камерой сгорания и без нее чаще применяются для плавки сплавов на медной основе. Они используются также для переработки лома и отходов на заводах с небольшим объемом производства.

Основные недостатки этих печей:

а) небольшие размеры горловины, ограничивающие габариты шихтовых материалов при загрузке;

б) малая производительность и повышенный угар металла;

в) повышенный расход топлива (мазута), достигающий 30% на 1 т металла.

Для плавки лома и отходов меди и ее сплавов наиболее производительными и удобными в обслуживании оказались отражательные печи, отапливаемые мазутом или комбинированным топливом (мазут + уголь) емкостью до 20 т.

На рис. 12 показана отражательная печь емкостью 7 т, работающая на мазуте, а на рис. 13 — пламенная отражательная печь для плавки оловянной бронзы емкостью 12 т, отапливаемая комбинированным топливом (мазут + уголь).

Наибольшее распространение на заводах Главторцветмета получили многотоннажные пламенные отражательные печи, отапливаемые мазутом. Производительность таких печей достигает 70 — 80 т металла в сутки при 10 — 11%-ном расходе топлива.

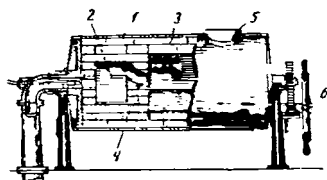


Рис. 11 Поворотная печь «Мечта»:

1 — железный цилиндр, 2 — камера сгорания, 3 — камера плавильная, 4 — кожух, 5 — зонт, 6 — штурвальное колесо

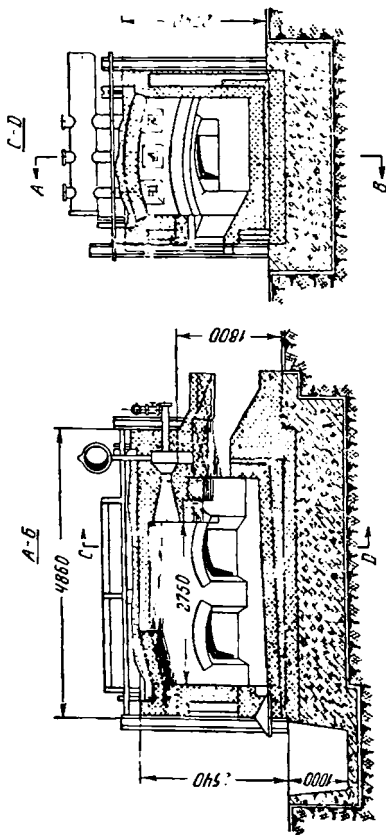


Рис. 12. Пламенная
отражательная печь
емкостью 7 т, работа-
ющая на мазуте

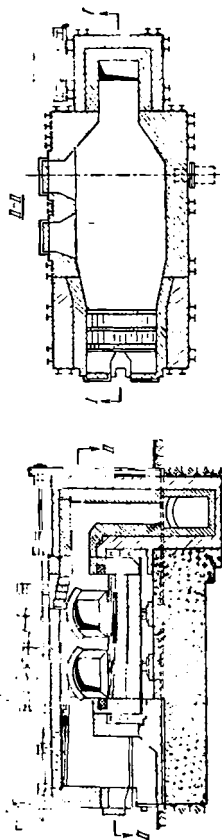


Рис. 13. Пламенная
отражательная печь,
отопляемая твер-
дым или комбина-
рным топливом,
емкостью 12 т для
плавки оловянной
бронзы

Съем металла с 1 м² площади пода в них при переплавке алюминиевого лома составляет 10 — 13 т в сутки.

На рис. 14 показана пламенная отражательная печь емкостью 20 т для плавки оловянных бронз, отопливаемая мазутом.

Достоинство этих печей — простое обслуживание, длительная работа без ремонта, большая производительность и сравнительно небольшой расход топлива (в пересчете на мазут в среднем до 15%). Недостатки — значительное соприкосновение металла с газами,

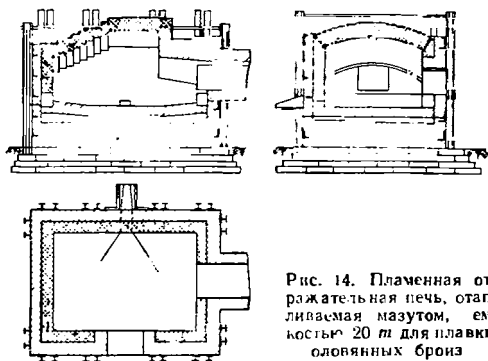


Рис. 14. Пламенная отражательная печь, отопливаемая мазутом, емкостью 20 т для плавки оловянных бронз

высокий угар металла, достигающий до 6% при плавке лома и до 10% при плавке стружки, и заметное насыщение металла газами.

Съем металла в сутки с 1 м² площади пода обычной ванной печи емкостью 2 — 5 т, отопливаемой мазутом, при плавке чушек составляет 6 т, при плавке тяжелого лома — 4 т и при плавке стружки — 2,5 т. Расход мазута — от 120 до 200 кг на тонну металла в зависимости от сорта загруженного металла.

Важнейшим средством уменьшения расхода топлива является использование тепла отходящих газов путем установки рекуператоров, что позволяет экономить до 8 — 10% топлива.

Футеровка нижней части пламенных печей состоит обычно из нескольких слоев: внешнего слоя из красного кирпича, среднего слоя из теплоизоляционного материала и облицовочного слоя из огнеупорных кирпичей.

Свод пламенных печей обычно выкладывается из динаса, а боковые стенки — из шамотных кирпичей. Футеровка этих печей работает 6 — 8 месяцев.

Пламенные печи снабжаются лёткой для выдачи металла. Канал лётки располагается на уровне самой низкой точки ванны печи чтобы при открывании отверстия весь металл вытекал из печи.

Продукты горения из печи отводятся возможно ближе к уровню ванны, чтобы предупредить подсос холодного воздуха через дверцы печи. С этой же целью в печи поддерживается некоторое избыточное давление, регулируемое шибером в дымоходе с тем, чтобы через неплотности у дверцы печи происходило небольшое выбивание газов.

§ 2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПЕЧИ

В цветнолитейных цехах используются различные электрические печи: *сопротивления, дуговые, индукционные и электронно-лучевые*, действующие по способу превращения электрической энергии в тепловую.

Печи сопротивления

В этих печах электрическая энергия превращается в тепловую в твердых и жидких телах, непосредственно включенных в электрическую сеть.

Электроды сопротивления бывают прямого и косвенного действия. В печах прямого действия нагреваемое тело непосредственно или через понизительный трансформатор включается в питающую

Техническая характеристика электроды сопротивления типа

ПК-90, ПК-120, ОКБ-240А, САН-1,5, А-300

	ПК-90	ПК-120	ОКБ-240А	САН-1,5	А-300
Емкость печи, т . . .	0,3	0,5	1,0	1,5	7,0
Мощность печи, кВт . .	90±10%	120±10%	180±10%	240±10%	300±10%
Напряжение на зажимах печи, в	380/220	380/220	380/220	380	380
Число фаз	3	3	3	3	3
Число тепловых зон . .	3	3	3	4	3
Мощность каждой зоны, кВт	30±10%	40±10%	60±10%	60±10%	100±10%
Максимальная рабочая температура, °С . . .	850	850	850	850	900
Производительность, кг/ч	125	150	225	300	1000*
Размеры ванны, мм:					
ширина	1100	1200	1200	1200	1500
длина	2515	2515	1600	2800	6940
глубина	245	260	300	350	540
Габаритные размеры печи, мм:					
ширина	3020	3020	3090	3100	4600
длина	3440	3440	5080	6640	8850
высота	3135	2935	2945	3180	5230
Объем ванны, м³	16,82	16,25	25,5	35,0	60,0

* Производительность при температуре 1000°С.

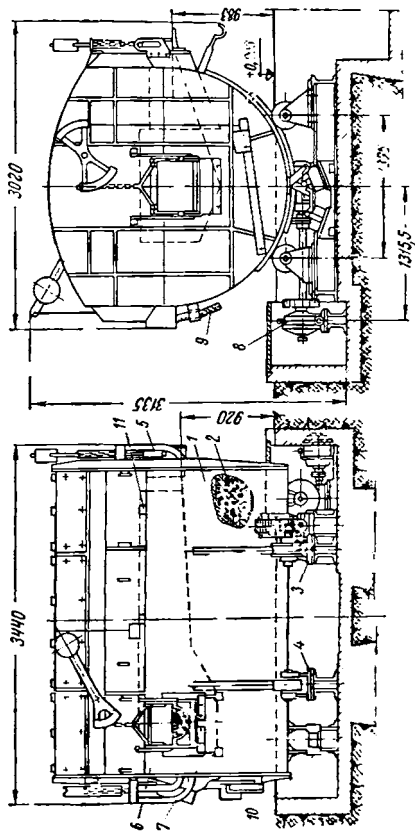


Рис 15. Общий вид электроники ПК-90.

1 — корпус; 2 — футляр; 3 — блок питания; 4 — блок управления; 5 — блок индикации; 6 — блок питания; 7 — блок питания; 8 — блок питания; 9 — блок питания; 10 — блок питания; 11 — установка термодатчика.

Свод камеры перекрыт специальными шамотными балками с пазами для нагревательных элементов. Теплоизоляционная часть футеровки выполнена из диатомитового кирпича и диатомитовой засыпки. Теплоизоляционная часть футеровки электропечи ОКБ-240А выполнена из ульtralегковесного кирпича и плит.

В пазы сводовых фасонных кирпичей укладываются нагревательные элементы (выполненные из нихромовой проволоки в виде спиралей), питающиеся электроэнергией непосредственно от сети.

В электропечи ПК-90 со стороны камеры расплавления расположено загрузочное окно, со стороны металлосорника — раздаточное окно и в боковой стене — сливное окно. В электропечах типа ПК-120, ОКБ-240А и САН-1,5 в торцевых стенах расположены загрузочные, а в боковых — смотровые и сливные окна.

Во всех печах окна плотно закрыты литыми футерованными дверцами. Для слива металла печь наклоняется в сторону сливного окна. Наклон печи осуществляется электромеханическим приводом и ограничивается при помощи конечных выключателей, установленных под печью.

Температура в печах регулируется автоматическими самопишущими потенциометрами.

Наклоняющаяся электропечь сопротивления типа А-300 (рис. 18) в основном применяется для рафинирования алюминия и в этом случае работает на жидкой завалке. Она может быть также использована и как плавильная печь.

Разливка алюминия из печи типа А-300 производится, главным образом, в чушки, но возможна разливка и в вайербарсы.

Ванна электропечи типа А-300 футерована магнезитовым кирпичом, а верх камеры — специальным фасонным кирпичом — блоками. Под и стены камеры теплоизолированы диатомитовым кирпичом, свод — диатомитовым кирпичом и диатомитовой засыпкой.

Нагревательные элементы из стали Х20Н80 питаются электроэнергией непосредственно от сети.

Для загрузки печи алюминием служат два окна в торцевых стенах и для слива — два окна в боковых стенах.

Наклон печи осуществляется при помощи двух гидравлических плунжеров, установленных в приямке фундамента. Приводятся они в действие от маслonaпорной установки высокого давления.

Так же как и в других электропечах сопротивления, температура регулируется автоматически.

Электропечи сопротивления двухтигельные типа ОКБ-230 и ОКБ-75 предназначены для модифицирования и раздачи алюминия и его сплавов.

Электропечь ОКБ 230 (рис. 19) состоит из двух камер, в каждой из которых установлен тигель. Кожух печи выполнен сварным из листовой стали. Футеровка — из легковесного шамотного кирпича, теплоизоляция — из диатомитового кирпича и диатомитовой засыпки.

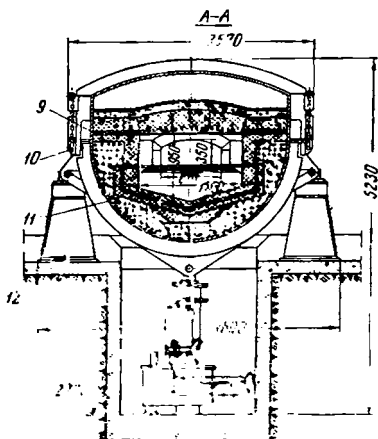
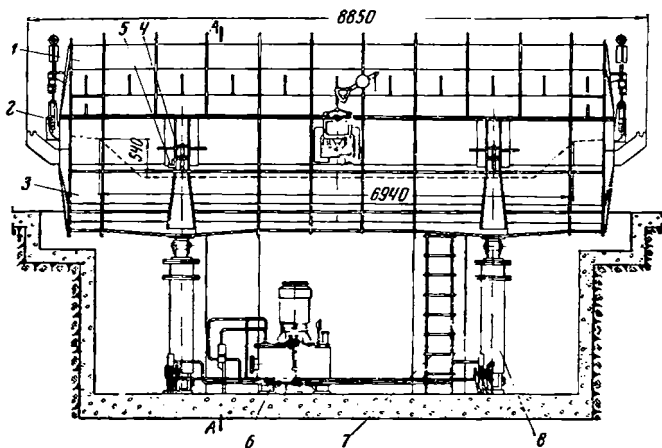


Рис. 18. Общий вид электропечи А-300:

1 — крышка кожуха; 2 — загрузочное окно; 3 — основание кожуха; 4 — подшатник; 5 — блокировка наклона печи; 6 — гидравлическая система; 7 — лестница; 8 — плунжер; 9 — нагревательные элементы; 10 — сливное окно; 11 — футеровка; 12 — стойка с ограничителем подъема

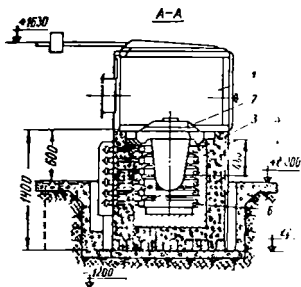
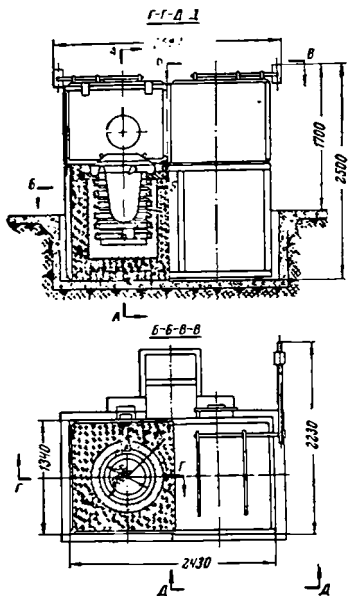


Рис. 19. Общий вид электропечи ОКБ-230:

1 — вытяжной шкаф; 2 — крышка; 3 — тигель; 4 — футеровка; 5 — кожух печи; 6 — нагреватель

Техническая характеристика электропечей сопротивления ОКБ-230 и ОКБ-75

	ОКБ-230	ОКБ-75
Емкость печи, кг	200	500
Мощность печи, кВт	90+10%	20+10%
Емкость тигля, кг	100	250
Напряжение на зажимах печи, в	380	102—163*
Число фаз	3	3
Количество тепловых зон	2	2
Максимальная рабочая температура печи, °C	800	850
Внутренние размеры тигля, мм:		
максимальный диаметр	400	530
толщина	660	1055
Габаритные размеры печи, мм:		
ширина	2230	1665
длина	2680	2630
высота	2500	2745
Объем печи, м³	4,8	5,1

* Напряжение питания элементов питания электропечи через понижающий трансформатор.

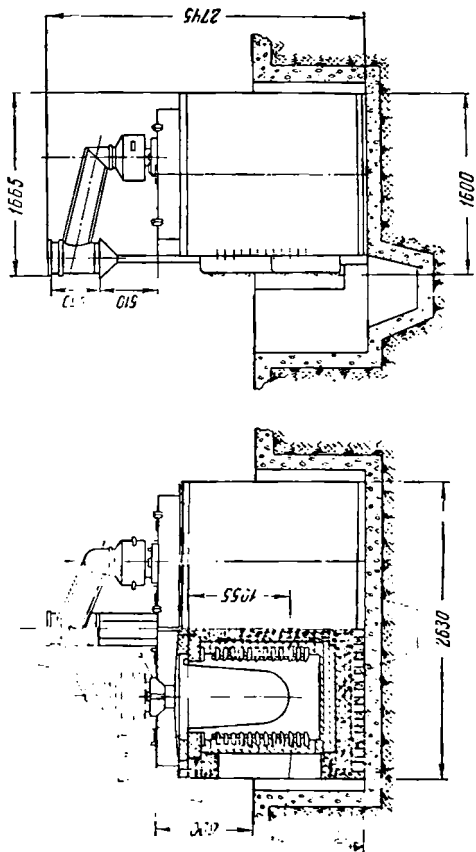


Рис. 20. Общий вид электропечи типа ОКБ-75

1 — вентиляционный рукав; 2 — крышка малая; 3 — крышка большая; 4 — тисель; 5 — ножка; 6 — футеровка; 7 — нагреватель

Нагревательные элементы выполнены в виде спиралей из проволоки $\varnothing$ 6 мм (из сплава Х20Н80) и размещены по боковым стенкам футеровки каждой камеры на выступах легковесно-шамотных кирпичей.

Выводы нагревательных элементов снаружи закрыты защитными кожухами. Нагревательные элементы питаются электроэнергией непосредственно от сети.

Тигли — литые из жаропрочной стали, установлены в верхней части футеровки камеры.

Электропечь ОКБ-75 (рис. 20) состоит также из двух камер, в каждой из которых установлен тигель.

Кожух печи стальной, сварной.

Нагревательные элементы печи выполнены в виде спиралей из проволоки $\varnothing$ 4,5 мм сплава марки Х15Н60 и уложены на шамотных полочках по боковым стенкам камеры нагрева. Питание нагревательных элементов производится электроэнергией через два понижающих трансформатора.

Тигли закрываются теплоизолированными крышками с диатомитовой засыпкой.

В кожухе и футеровке, так же как и в печи ОКБ-230, предусмотрены отверстия для аварийного слива металла.

Вентиляционная установка печи состоит из колпака, соединенного трубой с вентиляционной системой цеха. Колпак — поворотный и может быть установлен над выпускным отверстием печи во время хлорирования алюминия.

Электропечь сопротивления САС-9 для плавки и рафинирования алюминия и его сплавов (рис. 21).

Печь имеет две рабочие камеры: плавильную и рафинировочную, расположенные перпендикулярно друг к другу.

Загруженный в плавильную камеру металл после его расплавления сливается в камеру рафинирования при помощи сифона. Скорость перелива регулируется вентилем, установленным на

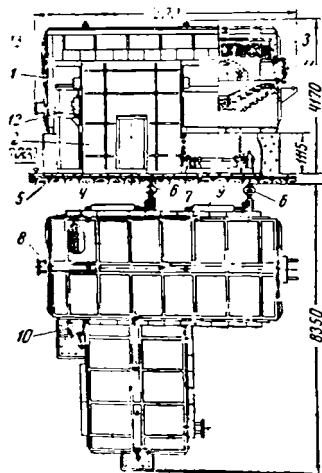


Рис. 21. Общий вид электропечи САС-9:

1 — кожух плавильной камеры; 2 — кожух камеры рафинирования; 3 — футеровка; 4 — нагревательные элементы; 5 — кожух камеры рафинирования; 6 — привод подъемной двери; 7 — вал; 8 — слуховая крышка; 9 — боковая дверь; 10 — сифон; 11 — торцевая дверь; 12 — дверь; 13 — инжектор

Технические данные печи САС-9

Емкость печи, <i>т</i> . . .	90	Производительность печи, <i>кг/ч</i>	900
Мощность печи <i>квт</i> . . .	570 + 10%	Габаритные размеры печи, <i>мм</i>	
Напряжение на зажимных, <i>в</i>	380	ширина	7500
Число фаз	3	длина	8350
Число тепловых зон . . .	3	высота	4170
Максимальная рабочая температура, °C	750	Общий вес печи <i>т</i> . . .	97,3

трубопроводе, соединяющем сифон с инжектором, создающим в сифоне разрежение. Сжатый воздух поступает в инжектор из воздухопровода.

Плавильная и рафинировочная ванна и камеры перелива футеруются магнезитовым кирпичом. Свод — шамотный. Теплоизоляционная часть футеровки пода и стенок печи выполняется из диатомитовых кирпичей и листового асбеста. Свод печи теплоизолируется диатомитовым и пеношамотным кирпичом и диатомитовой засыпкой.

Нагревательные элементы выполнены из нихромовой ленты сечением 2 × 25 мм и размещены на своде печи. Питание нагревательных элементов осуществляется электроэнергией непосредственно от сети.

Плавильная камера имеет три окна. Два из них (размером 800 × 1250 мм) в боковой стене камеры предназначены для загрузки шихтовых материалов. Третье (размером 500 × 700 мм) в торцевой стене камеры — для загрузки шихты в процессе расплавления металла и заливки плавильной камеры жидким металлом при помощи желоба.

Чистка плавильной камеры осуществляется через три окна.

У основания ванны плавильной камеры предусмотрены два отверстия. Одно соединяет плавильную камеру с рафинировочной камерой и предназначено для перелива металла, другое — для аварийного слива металла, расположенное с глухой торцевой стороны печи.

В рафинировочной камере в боковой стене предусмотрено окно размером 350 × 700 мм для загрузки и чистки ванны. К торцевой стене прикреплен карман для установки сифона.

Камерная стационарная электропечь сопротивления типа ПК 40 (рис. 22) предназначена для плавки и подогрева алюминия и его сплавов.

Печь используется, главным образом, как раздаточная.

Выполнена она в виде металлического кожуха, внутри которого находится рабочая камера.

Кожух печи сварной из листовой и профильной стали. Футеровка пода и стен рабочей камеры до уровня металла выложена из стандартного магнезитового кирпича, а свод и стены выше уровня металла — из шамотного кирпича.

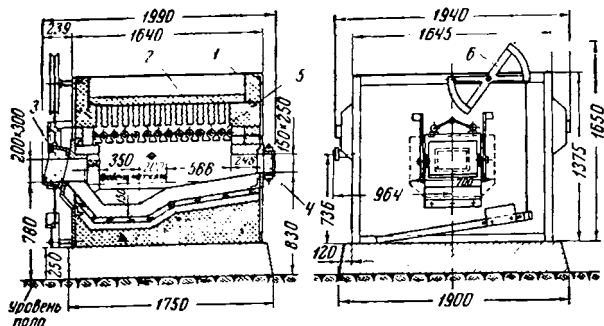


Рис. 22. Общий вид электропечи ПК-40:

1 — кожух 2 — футеровка 3 — раздаточное окно; 4 — загрузочное окно; 5 — нагреватели; 6 — механизм подъема двери

Технические данные электропечи ПК-40

Емкость печи, т . . .	0,15	Максимальная произво-	
Мощность печи, кВт	40 ± 10%	дительность, кг/ч . . .	60
Напряжение на зажи-		Габаритные размеры пе-	
мах, в	380/220	чи, мм:	
Число фаз	3	ширина	1940
Число тепловых зон	1	длина	1940
Максимальная рабо-		высота	1650
чая температура, °С	900	Общий вес печи, т	4,5

Свод рабочей камеры собран из фасонных балок, в пазы которых вмонтированы нагревательные элементы. Во избежание проникновения расплавленного металла в футеровку печи под слоем магнезитового кирпича подины и металлосорника насыпан мелкий магнезитовый порошок. Пространство между кожухом и огнеупорной кладкой рабочей камеры заполнено теплоизоляцией, состоящей из диатомитового кирпича и диатомитовой засыпки.

Нагревательные элементы выполнены из нихромовой проволоки в виде спиралей. Смена вышедших из строя спиралей производится без охлаждения и остановки печи через проемы в кожухе, закрытые снаружи защитными листами.

Нагревательные элементы питаются электроэнергией непосредственно от сети.

На торцевой стенке со стороны камеры расплавления расположены двери, через которые производится загрузка шихты на подину форкамеры. По мере расплавления металл стекает в металлосорник, откуда вычерпывается вручную через раздаточное окно черпаками-лопатками.

Тигельные электропечи сопротивления САТ-0,15 и САТ-0,25 (рис. 23) выполнены в виде сварного цилиндрического кожуха, футерованного фасонным легковесно-шамотным кирпичом, а теплоизоляционная часть футеровки — из прямых ультралегковесных кирпичей и асбестовых листов.

Нихромовые спиральные (из сплава Х20Н80) нагревательные элементы печей размещены по боковой поверхности рабочей камеры на электрокорундовых полочках, которые крепятся крючками, вмонтированными в канавках полочек. Нагревательные элементы питаются электроэнергией непосредственно от сети.

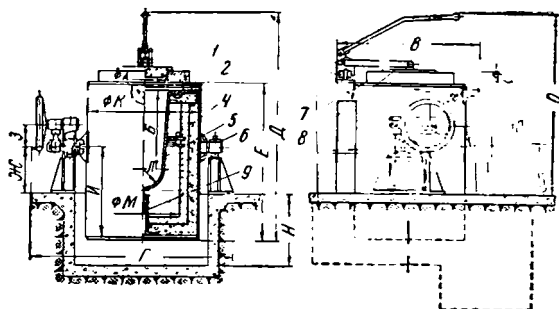


Рис. 23. Общий вид электропечей типа САТ-0,15 и САТ-0,25:

1 — кожух печи; 2 — футеровка; 3 — механизм подъема крышки; 4 — нагреватель; 5 — тигель; 6 — механизм наклона печи; 7 — крышка; 8 — крышка малая; 9 — подставка; 10 — сливной носок

Тип печи	Размеры, мм													
	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К	Л	М	Н	О
САТ—0,15	440	630	1520	2318	2145	1312	460	240	960	1138	1140	640	700	184
САТ—0,25	530	790	1550	2400	2450	1742	460	240	960	1220	1200	700	750	184

В верхней части футеровки печей вмонтировано литое опорное кольцо из жаропрочного чугуна, на которое сверху устанавливается литой тигель из жаропрочного чугуна со сливным носком.

Техническая характеристика печей САТ-0,15 и САТ-0,25

	САТ-0,15	САТ-0,25
Емкость печи, кг	150	250
Мощность печи, кВт	50 ± 10%	90 ± 10%
Напряжение на зажимах печи, в	380/220	380
Число фаз	3	3
Количество тепловых зон	1	1
Максимальная рабочая температура, °С	850	850
Производительность печи, кг/ч	45	75
Внутренние размеры тигля, мм		
диаметр (максимальный)	440	530
глубина	630	790
Габаритные размеры печи, мм		
ширина	1520	1550
длина	2318	2400
высота	2145	2545
Общий вес печи, т	2,0	2,6

Дуговые печи

В этих печах электрическая энергия превращается в тепло в дуге, горящей в газовой среде.

Дуговые печи также бывают прямого и косвенного действия.

В печах прямого действия дуговой разряд протекает между электродами и нагреваемым телом, непосредственно отдавая тепло последнему. Применяются дуговые трехфазные и реже двухфазные печи поворотного типа.

В печах косвенного действия дуговой разряд протекает между электродами, не касаясь нагреваемого тела, которому тепло передается излучением. Предназначены — для плавки тяжелых цветных металлов и сплавов.

Для плавки легких сплавов дуговые печи непригодны.

Электрические поворотные дуговые однофазные печи ДМО емкостью от 0,5 т и ДМК до 2,0 т получили распространение для плавки оловянных бронз. Преимущество печей — возможность достижения высокой температуры, позволяющей форсированно вести процесс плавки с минимальным угаром.

Для плавки крупногабаритного лома эти печи неприемлемы.

На рис. 24 изображена дуговая электрическая печь ДМО емкостью 0,5 и 1,0 т.

Техническая характеристика электродуговых печей ДМО

	ДМО 0,5	ДМО 1,0
Емкость, т	0,5	1,0
Мощность, кВт	250	350
Производительность, кг/ч	300 — 320	600 — 700
Рабочие размеры тигля, мм		
диаметр (максимальный)	250 — 300	
глубина	2,0 — 3,0	
высота	5,0	

Техническая характеристика электродуговых печей ДМК

	ДМК 0,1	ДМК 0,2	ДМК 0,5	ДМК 1,0	ДМК 2,0
Емкость печи, кг . . .	100	250	500	1000	2000
Мощность трансформатора, <i>квт</i> . . .	125	175	250	400	500
Напряжение низкой стороны, <i>в</i>	100	100	110	110	—
Максимальная сила тока, <i>а</i>	1250	1750	2300	3000	—
Диаметр графитизированного электрода, <i>мм</i>	75	75	100	100	100
Размеры плавильного пространства, <i>мм</i> :					
диаметр	480	500	700	800	—
длина	600	840	1100	1140	—
Глубина ванны, <i>мм</i>	120	150	150	235	—
Расход электроэнергии, <i>квт-ч/т</i> :					
при плавке оловянных бронз	400 — 450	300 — 350	250 — 300	230 — 250	200 — 230
при плавке латуней	320 — 350	270 — 270	200 — 240	190 — 230	150 — 180
Часовая производительность, <i>кг</i> :					
при плавке оловянных бронз	120 — 140	200 — 250	350 — 450	600 — 700	900 — 1300
при плавке латуней	145 — 170	250 — 320	500 — 570	750 — 900	1300 — 1500
Расход электродов на 1 <i>т</i> металла, <i>кг</i> :					
при плавке оловянных бронз	3,0 — 3,5	3,0 — 3,5	2,5 — 3,0	2,0 — 2,5	1,5 — 2,0
при плавке латуней	2,5 — 3,0	2,5 — 3,0	2,0 — 2,5	1,5 — 2,0	1,2 — 1,4
Вес металлических конструкций, <i>кг</i>	1200	1250	1800	2420	—

Техническая характеристика электропечей ОКБ-934 и ОКБ-935

	ОКБ-934	ОКБ-935
Емкость плавильной ванны, <i>кг</i>	60	160
Род тока	Постоянный	
Максимальный ток, <i>а</i>	1400	
Рабочее напряжение, <i>в</i>	58 — 33	
Установленная мощность генератора, <i>квт</i>	100	
Давление нейтральных газов, <i>кг/см²</i>	—1	
Максимальные размеры электрода, <i>мм</i> :		
длина	1000	
диаметр	100	
Максимальные размеры литейных форм, <i>мм</i> :		
длина	600	800
ширина	600	600
высота	300	500
Скорость плавления, <i>кг/мин</i>	10 — 5	
Удельный расход электроэнергии, <i>квт-ч/кг</i>	3	1,4

Мощность нагревательного оборудования,

132

Расход электроэнергии, кВт/ч

38

Время цикла, мин

4

5,5

Площадь печи, м²

10 080

5775

5845

Объем вес печи, т

36,2

Дуговые вакуумные гарнисажные электропечи ОКБ-934 и ОКБ-935 (рис. 25) предназначены для плавки высококачественных цветных металлов в вакууме или в среде нейтральных газов.

Плавку можно вести двумя способами: расплавлением расходую-

мого электрода или расплавлением засыпаемого в тигель скрапа не-расходуемым (графитовым) электродом. Разливка металла в литейные формы осуществляется наклоном тигля; электрическая дуга при этом не разрывается. В печи устанавливаются пять расходующихся электродов диаметром до 300 мм и длиной до 500 мм.

Конструктивная компоновка обеих печей выполнена одинаково и отличается одна от другой различной емкостью тиглей: ОКБ-934 — 60 кг, ОКБ-935—160 кг.

Нормальная работа электропечей гарантируется (по условиям работы приборов) при температуре окружающего воздуха от +5 до +35°C, относительной влажности до 80 % и высоте над уровнем моря не выше 1000 м.

Рис. 24. Дуговая электрическая печь ДМО:

1 — желтый электрод, 2 — угольный электрод, 3 — тигель, 4 — поворотный механизм

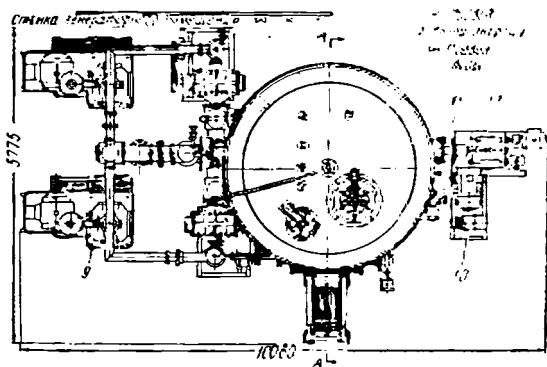
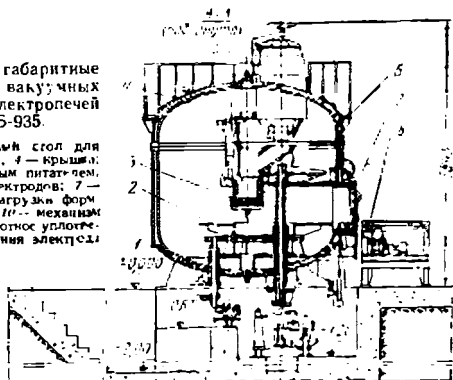
Эксплуатация электропечей и комплектующего оборудования не допускается в сырых, влажных, пожароопасных и взрывоопасных помещениях, в помещениях, имеющих ненормальную воздушную среду (различные пары, ядовитые газы, пыль).

Электропечь состоит из двух основных частей: плавильной камеры и вакуумной системы.

Плавильная камера представляет собой водоохлаждаемый сосуд, образованный кожухом 1 и крышкой 2. Кожух сварен из двух цилиндров, дна из двух конических донн и неподвижно установлен на фундаменте. В нижней части кожуха вварены патрубки для подключения вакуумной системы, вращения стола, служащего подставкой

Рис. 25. Общий вид и габаритные размеры дуговых вакуумных гарниссажных электропечей ОКБ-934 и ОКБ-935.

1 — кожух, 2 — поворотный стол для форм; 3 — установка тигля; 4 — крышка; 5 — бункер с вибрационным питателем; 6 — механизм загрузки электродов; 7 — крышка; 8 — механизм загрузки форм; 9 — вакуумная система; 10 — механизм наклона тигля; 11 — поворотное уплотнение; 12 — привод перемещения электродов.



для литейных форм, и механизма загрузки электродов, а также патрубки для присоединения вакуумной системы. В верхней части кожуха имеются два соосных патрубка для установки поворотных уплотнений механизма наклона тигля и патрубков токоподвода к электроду. На боковой стенке находится патрубок для загрузки литейных форм, который закрывается крышкой 7, установленной на роликах в направляющих, расположенных под небольшим углом к плоскости разъема. Перемещение крышки и прижим ее к фланцу патрубка осуществляется электроприводом.

Крышка 4 камеры представляет собой сварную металлоконструкцию, изготовленную из двух эллиптических днищ, фланца и обечайки. В нее варены патрубки для установки бункера 5 для загрузки электродов и корпуса гляделок. На крышке смонтирована площадка для обслуживания.

Бункер 5 образован цилиндром с коническим дном и крышкой. Под отверстием в дне расположен лоток вибрационного питателя, который приводится в движение от электродвигателя и эксцентрика, преобразующего вращательное движение в возвратно-поступательное.

Внутри камеры расположен поворотный стол 2 для форм, установленный на опорном шарикоподшипнике и приводимый в движение электроприводом.

Там же расположена несущая сварная рама, на которой размещены плавильный тигель и механизм перемещения электрода.

Плавильный тигель представляет собой сварной водоохлаждаемый корпус из углеродистой стали, внутри которого находится цилиндрический графитовый сосуд со сливным носком. Для оплавления настывшей, образующихся на носке при сливе металла, предусмотрен графитовый электрод, закрепленный на траверсе. На наружной обечайке корпуса расположена обмотка, представляющая собой катушку медного провода и предназначенная для стабилизации горения дуги и перемешивания металла.

Механизм 12 перемещения электрода состоит из траверсы, перемещающейся по двум вертикальным направляющим, и двух винтов, приводимых во вращение от ведущего вала привода механизма 12.

Привод состоит из редуктора с электромагнитными муфтами и двух постоянно включенных электродвигателей переменного тока мощностью 1 и 14 *квт*. Электромагнитные муфты осуществляют переключение скоростей и реверсирование движения траверсы. Винты защищены от теплового излучения из тигля телескопическими экранами.

Рама, на которой установлен тигель, закреплена на двух поворотных уплотнениях, соосно установленным на патрубках кожуха. Через одно уплотнение осуществляется подвод тока, а также подвод и отвод воды к тиглю. Через другое уплотнение проходит ведущий вал привода механизма перемещения электрода; сам привод консольно закреплен на наружном фланце поворотного уплотнения 11. Уплотнение вала достигается четырьмя сальниковыми прокладками, средняя полость между которыми заполнена вакуумным маслом, а две крайние полости подсоединены к системе промежуточной откачки, благодаря чему предотвращается выжимание масла из средней полости.

Механизм 10 наклона тигля состоит из электродвигателя постоянного тока, редуктора и цепной передачи к звездочке поворотного уплотнения.

Механизм 6 загрузки электродов сконструирован из вертикально установленной в камере трубы, закрепленной на ее верхнем конце, пластины в виде сектора, поворотного уплотнения и привода. Через люк в крышке камеры электроды устанавливаются на сектор и при повороте последнего могут последовательно подводиться под траверсу для приварки. На секторе установлен лоток, направляющий шихту из вибрационного питателя в тигель. Вращение сектора производится от электропривода, располагающего семью конечными выключателями, фиксирующих сектор в положениях под загрузку и приварку электродов и загрузку шихты.

Механизм 8 загрузки форм расположен на столе перед загрузочным патрубком камеры и состоит из электродвигателя, редуктора, тележки и ползуна. При перемещении тележки по направляющим стола по ней при помощи троса движется ползун, толкающий форму. Таким образом, ход формы оказывается вдвое больше хода тележки.

Вакуумная система 9 печи сконструирована из двух механических бустерных насосов ДВН-1500, двух форвакуумных насосов ВН-300, затворов, вентилей, фильтра и вакуумпроводов. К форвакуумным насосам присоединена система промежуточной откачки разъемных уплотнений крышки камеры, дверцы, крышек бункера и люка для загрузки электродов, а также поворотного уплотнения вала механизма перемещения электрода. Токосвод к траверсе — электродвигателю осуществлен медными гибкими кабелями, а к тиглю — через водоохлаждаемое поворотное уплотнение и медную шину. Сектор механизма загрузки электрода соединен с токосводом через трубу поворотного уплотнения. Контроль водоохлаждения печи производится посредством струнных реле и контактных термометров.

Для измерения и записи вакуума печи предусмотрен вакуумметр с датчиком и потенциометром.

Управление процессом плавки осуществляется как автоматически, так и вручную (дистанционно). Управление механизмами печи и вакуумной системой ручное (дистанционное). Последовательность работы механизмов печи и вакуумной системы обеспечивается при помощи блокировки.

Для безопасности обслуживающего персонала печь рекомендуется устанавливать в специальной защитной камере.

Наблюдение за процессом плавления и разлива металла ведется через оптические устройства.

Измерение температуры металла осуществляется радиационным пирометром.

Порядок работы электропечи ОКБ-934 (ОКБ-935) следующий: с помощью механизма загрузки на поворотный стол устанавливается пять предварительно просушенных литейных форм. На секторе устанавливаются электроды, после чего печь закрывается и вакуумируется.

Сектор поворачивается таким образом, чтобы электрод оказался под огарком, закрепленным на траверсе. После приварки электрода

огарку, сектор возвращается в исходное положение и после прогрева гарниссажа начинается процесс расплавления. По получении необходимого количества жидкого металла тигель наклоняется и металл заполняет форму.

Затем тигель устанавливается в вертикальное положение, а стол с формами поворачивается, подводя очередную форму под носок тигля. Процесс повторяется до тех пор, пока не окажутся заполненными все формы. За один рабочий цикл возможно получение пяти отливок без нарушения вакуума в камере.

В случае переплава отходов литья они загружаются в бункер перед началом плавки, которая ведется нерасходуемым графитовым электродом, устанавливаемым в траверсе взамен огарка. Из бункера некоторое количество отходов засыпается в тигель. После расплавления первой порции электрод быстро поднимается и в тигель засыпается следующая порция.

Индукционные печи

Значительное распространение в последние годы получили индукционные электропечи.

В этих печах нагреваемое тело помещается в переменное магнитное поле и нагревается индуктируемым в нем током.

Для плавки цветных металлов применяются индукционные печи двух типов: с железным сердечником и без железного сердечника.

В индукционных печах нормальной частоты с железным сердечником тело нагревается по принципу вторичной обмотки трансформатора, имеющего железный сердечник.

В индукционных печах высокой, средней и нормальной частоты без железного сердечника нагреваемое тело нагревается по принципу воздушного трансформатора без железного сердечника.

При желании получить частоту тока до 10 000 гц в качестве источника тока высокой частоты обычно применяются машинные генераторы, представляющие собой агрегат из асинхронного двигателя и собственно генератора. К п. д. машинных генераторов достигает 70—80%

Для получения частоты тока более 10 000 гц применяются ламповые генераторы, состоящие из силового повышающего трансформатора, выпрямителя, лампового генератора, колебательного контура и индуктора, служащего печью.

Колебания высокой частоты, создаваемые в ламповом генераторе, подаются в индуктор, внутри которого производится нагрев токопроводящих материалов. Индуктор, во избежание расплавления, выполняется в виде спирали из медной полый трубки, охлаждаемой водой. Материалы, плохо проводящие тепло, можно нагревать, помещая их в каналы из проводящего материала.

Индукционные электропечи с железным сердечником представляют собой трансформатор

Первичной обмоткой этого трансформатора служит медная катушка (индуктор), посаженная на сердечник (магнитопровод) из пластин электротехнической стали толщиной 0,35—0,5 мм.

Кольцевой канал с расплавленным металлом представляет собой как бы вторичную обмотку. Устья этого канала выходят в шахту печи.

При подводе тока к индуктору в канале индуктируется ток низкого напряжения порядка 6—10 в, при этом сила тока достигает десяти и более тысяч ампер.

Ток, индуктируемый в металлическом котле канала, перегревает расплавленный металл, вызывает его циркуляцию и последний отдает свое тепло расплавляемой шихте.

Печь состоит из трех частей: шахты, подового камня с плавильным каналом и магнитопровода с индуктором.

Жидкий металл не выливается из канала в продолжение всей работы печи, т. е. канал всегда заполнен металлом.

Конструкция индуктора зависит от системы его охлаждения. При воздушном естественном и принудительном охлаждении индуктор выполняется из медных шин, изолированных асбестом или тканью из стеклянного волокна, а при водяном охлаждении — из медных трубок.

Так как индуктор фактически находится внутри печи и нагрев его происходит не только от протекающего по нему тока, но и от излучения окружающей его кладки, должны быть приняты соответствующие меры для охлаждения индуктора.

В мелких печах до 30 ккал на фазу возможно естественное охлаждение, но для этого необходимо горизонтальное расположение канала, чтобы получить вертикально установленный цилиндрический индуктор и тем самым создать усиление излучения от стенок.

Для печей мощностью от 50 до 200 ккал на фазу применяется искусственное воздушное охлаждение, а для большей мощности — водяное с добавочным воздушным охлаждением стенок подового камня.

Печи, независимо от мощности и назначения, оборудуются механизмами наклона для слива металла. В печах мощностью до 30 ккал применяется ручной привод наклона.

Индукционные электропечи с железным сердечником являются наиболее совершенным и экономичным плавильным агрегатом для цветных металлов и сплавов. Они применяются для плавки медных, цинковых и алюминиевых сплавов.

Основными преимуществами индукционных печей являются

- а) высокая производительность;
- б) малый расход энергии;
- в) минимальный, по сравнению с другими типами печей, уход металла;
- г) благоприятные санитарные условия труда.

Периодическая работа неблагоприятно сказывается на этих печах, так как в случае частых остановок и охлаждения печи то

никает опасность разрыва замораживаемого витка и разрушения подового камня, охватываемого этим витком, а поддержание металла в разогретом состоянии вызывает дополнительный расход энергии.

На рис. 26 показан схематический разрез индукционной канальной печи с железным сердечником. Принцип работы ее заключается в том, что кольцо жидкого металла в канале печи, как уже указывалось, служит вторичной обмоткой печного трансформатора. Переменный ток в первичной катушке возбуждает вокруг нее

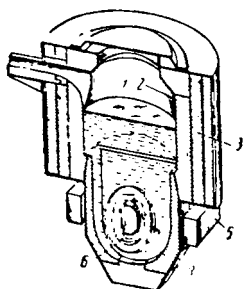


Рис. 26. Схематический разрез индукционной канальной печи с железным сердечником.

1 — камера; 2 — огнеупорная футеровка; 3 — теплопроводящая изоляция; 4 — плавильный канал; 5 — первичная обмотка; 6 — магнитный сердечник.

переменное магнитное поле, которое индуцирует вторичный ток в кольце жидкого металла печи, переходящий в тепловую энергию и служит источником нагрева и плавления металла.

Индукционные печи без железного сердечника. Принцип работы индукционных печей без железного сердечника основан на том, что в любом проводящем материале, помещенном в переменное электромагнитное поле, индуцируются циркулирующие по замкнутым путям тока проводимости (называемые вихревыми токами, или токами Фуко), которые и производят нагрев материала.

Конструктивно индукционные печи без железного сердечника весьма просты. Основным элементом конструкции является индуктор, представляющий собой спираль из медной, охлаждаемой водой трубки, по которой протекает электрический переменный ток необходимой силы и частоты. Внутри спирали создается практически равномерное концентрированное переменное магнитное поле, в котором помещается огнеупорный тигель с расплавляемым металлом.

Основной величиной, определяющей степень эффективности применения индукционной плавильной печи без железного сердечника является электрический коэффициент полезного действия индуктора, представляющий собой отношение мощности, передаваемой в нагреваемый металл электромагнитным полем индуктора, к общей мощности, потребляемой индуктором от источника питания.

Так как цветные металлы отличаются относительно малым удельным электрическим сопротивлением по сравнению с черными металлами, их плавка в индукционных печах без железного сердечника сопряжена с пониженными значениями к.п.д. индуктора и, следовательно, с повышенным удельным расходом электроэнергии на расплавление по сравнению с расходом электроэнергии в индук-

ционных печах с железным сердечником. В последнее время все более широкое распространение получают бессердечниковые индукционные печи промышленной частоты для плавки цветных металлов и сплавов. Ниже приводится техническое описание некоторых из них.

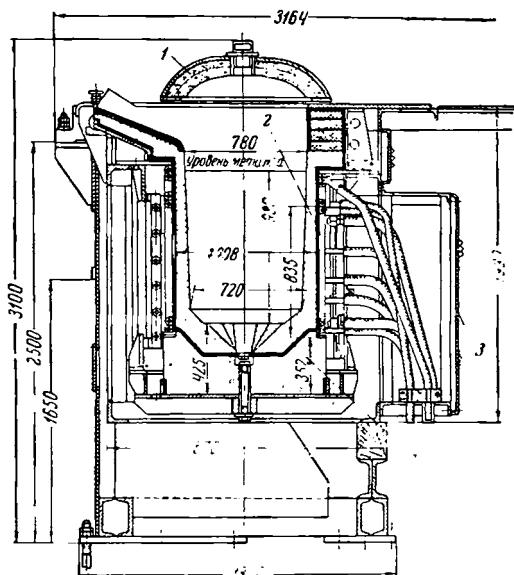


Рис. 27. Индукционная тигельная печь промышленной частоты ИАТ-1 для плавки алюминия и его сплавов (ВНИИЭТО):

1 — крышка; 2 — установка индуктора; 3 — корпус печи; 4 — электроподогрев

Индукционная тигельная электропечь ИАТ-1 промышленной частоты (рис. 27) для плавки алюминия и его сплавов по сравнению с плавкой в ранее применяемой электропечи сопротивления САТ-0,15 дает значительный экономический эффект за счет резкого снижения угара металла с 6 до 1—0,5% и уменьшения удельного расхода электроэнергии.

Техническая характеристика электропечи ИЛТ-1

Латунь

Медь

Емкость печи, <i>л</i>	1	
Мощность печи установленная (по трансформатору), <i>кв-а</i>	400	
Мощность, потребляемая печью, <i>квт</i>	287	266
установкой, <i>квт</i>	307,8	287,5
Схема питания печи	Через однофазный трансформатор мощностью 400 кв-а напряжением: В. Н. 6 или 10 кв, Н. Н. 518÷173 в	
Частота, <i>гц</i>	50	
Напряжение (номинальное), <i>в</i>	475	
Коэффициент мощности без компенсации	0,151	0,14
с компенсацией	0,96	
Рабочая температура, <i>°С</i>	1200	1225
Мощность холостого хода установки, <i>квт</i>	67,4	62,6
Напряжение холостого хода, <i>в</i>	216	
Удельный расход электроэнергии установкой на расплавление, <i>квт-ч/т</i>	470	660
Время расплавления, <i>ч</i>	1,52	2,3
Производительность по расплавлению, <i>т/ч</i>	0,655	0,435
Общий расход охлаждающей воды, <i>л³/ч</i>	5,47	5,72
Перепад давления воды в ветви индуктора, <i>атм</i>	1,6	1,7
Вес металлоконструкций печи, <i>т</i>	4,2	
Общий вес печи с металлом, <i>т</i>	6,7	

требованиям эксплуатации, а также при периодическом режиме работы и при частых сменах выплавляемых марок сплавов.

Основная масса шихты должна иметь размеры кусков в условном диаметре не менее 10 мм. Расплавление мелкой шихты может быть осуществлено только при наличии в печи остатка расплавленного металла («болота») от предыдущей плавки или с помощью специально подготовленной болванки, составляющей около 20% от емкости тигля и соответствующей форме тигля.

Электропечь характеризуется интенсивным электродинамическим перемешиванием металла, обеспечивающим однородность температуры и химического состава расплавленного металла и низким угаром металла, составляющим 0,5—1%.

Печь представляет собой кожух прямоугольной формы, внутри которого помещена установка индуктора.

Для более полного использования производительности печи и во избежание потери времени на перефугеровку тигля узел «установка индуктора», состоящий из собственно индуктора, магнитопроводов, набивного тигля и бетонированной подины, сделан выемным и при выходе его из строя заменяется заранее подготовленной установкой индуктора с футерованным и просушенным тиглем.

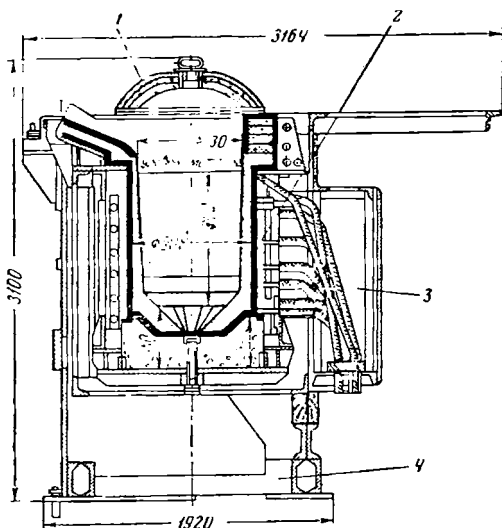


Рис. 29. Индукционная печь промышленной частоты ИЛТ-2,5 для плавки сплавов на медной основе (латуней, бронз, меди) (ВНИИЭТО):

1 — крышка, 2 — установка индукции, 3 — coils, 4 — подставка, 5 — рама

К кожуху печи крепится кожух выводов. Печь сверху закрывается футерованной жароупорным бетоном крышкой, свободно перемещающейся на рамке при открывании и закрывании вручную.

Разливка металла осуществляется через сливной носок путем наклона печи в одну сторону на любой угол до 95° с помощью гидравлического механизма наклона, состоящего из двух плунжеров, маслonaпорной установки и аппаратуры гидропривода.

Токоподвод к печи осуществляется гибкими водоохлаждаемыми кабелями.

Установка конечных выключателей обеспечивает отключение питания печи при сливе металла.

Индукционная тигельная электропечь ИЛТ-10 промышленной частоты (рис. 30) предназначена для плавки сплавов на медной основе (бронз, латунь, медь). Рекомендуется для использования взамен ранее применяемых отражательных (газовых и нефтяных) печей, вследствие резкого снижения угара метал-

Техническая характеристика электропечи ИЛТ-2,5

	Латунь	Бронза
Емкость печи, <i>т</i>	2,5	
Мощность печи установленная, <i>кв-а</i>	1300	
Мощность потребляемая, <i>квт</i>		
печью	686	663
установкой	720	697
Схема питания печи	Через однофазный трансформатор мощностью 1300 <i>кв-а</i> напряжением В. Н. 6 или 10 <i>кв</i> Н. Н. 1160-290 <i>в</i>	
Частота, <i>пер/сек</i>	50	
Напряжение (номинальное), <i>в</i>	1052	
Коэффициент мощности		
без компенсации	0,145	0,139
с компенсацией	1	
Рабочая температура °С	1200	1350
Мощность холостого хода установки, <i>квт</i>	100	154
Напряжение холостого хода, <i>в</i>	399	508
Удельный расход электроэнергии, <i>квт-ч/т</i>	355	428
Время расплавления, <i>ч</i>	1,23	1,53
Производительность, <i>т/ч</i>	2	1,5
Общий расход охлаждающей воды, <i>м³/ч</i>		9,5
Перепад давления воды в ветви индуктора, <i>атм</i>		2
Вес металлоконструкций печи, <i>т</i>		10,5
Общий вес печи с металлом, <i>т</i>		15,5

Техническая характеристика электропечи ИЛТ-10

Емкость печи, <i>т</i>	10
Мощность печи установленная (по трансформатору), <i>кв-а</i>	1300
Мощность потребляемая, <i>квт</i>	
печью	1210
установкой	1294
Схема питания печи	Через одофазный трансформатор 1300 <i>кв-а</i> В. Н. 6 или 10 <i>кв</i> Н. Н. 1600-290 <i>в</i>
Частота, <i>гц</i>	50
Напряжение (номинальное)	1160
Коэффициент мощности	
без компенсации	0,106
с компенсацией	1
Рабочая температура, °С	1300
Мощность холостого хода установки, <i>квт</i>	240
Напряжение холостого хода, <i>в</i>	508
Удельный расход электроэнергии (гапокой) на расплавление, <i>квт-ч/т</i>	455
Время расплавления, <i>ч</i>	3,5
Производительность, <i>т/ч</i>	2,9
Общий расход охлаждающей воды, <i>м³/ч</i>	18
Перепад давления воды в ветви индуктора, <i>атм</i>	2
Вес металлоконструкций печи, <i>т</i>	18
Общий вес печи с металлом, <i>т</i>	36

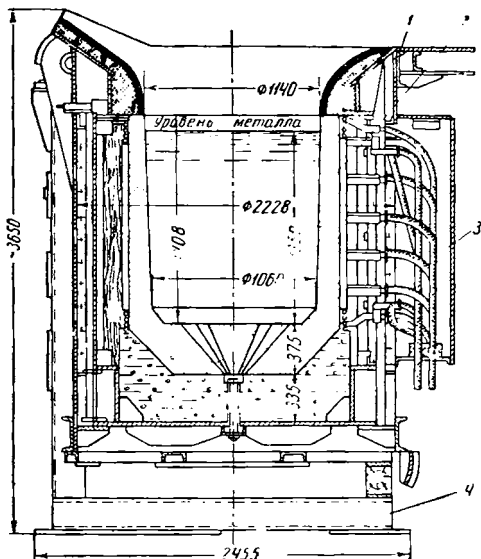


Рис. 30. Индукционная тигельная печь промышленной частоты ИЛТ-10 для плавки сплавов на медной основе (бронз, латуней, меди) (ВНИИЭТО):

1 — кожух; 2 — установка индуктора; 3 — кожух выводов; 4 — рач

ла, и вместо канальных индукционных электропечей в тех случаях, когда стойкость футеровки последних не удовлетворяет требованиям эксплуатации (это относится в основном к группе оловянных и свинцовых бронз), а также при периодическом режиме работы и при частых сменах выплавляемых марок сплавов.

Печь представляет собой кожух цилиндрической формы, внутри которого помещена установка индуктора.

Для более полного использования производительности печи и во избежание потерь времени на перефутеровку тигля, узел «установка индуктора», состоящий из собственно индуктора, набивного тигля, бетонированной подины и насадки, сделан выемным и при выходе его из строя заменяется запасной установкой индуктора с футерованным и просушенным тиглем.

Для поглощения полей рассеивания индуктора и сокращения диаметра кожуха по периметру каркаса с внутренней стороны рас-

положены магнитопроводы. Печь сверху закрывается крышкой, снабженной ручным механизмом.

Печь ИЛТ-16 (рис. 31 см. вклейку между стр. 84, 85) предназначена для работы в составе агрегата в комплекте с миксером и машиной непрерывной отливки слитков.

Печь состоит из следующих основных элементов:

1. Барабана печи (кожуха) восьмигранной формы с ободами и футерованной ванной

2. Шести индукционных отъемных единиц, каждая из них в свою очередь состоит из литого кожуха с набивкой, имеющего два параллельных канала прямоугольного сечения; магнитопровода стержневого типа с отъемным ярмом; водоохлаждаемого индуктора, выполненного из медной профилированной трубки.

3. Установки вентиляторов, предназначенной для охлаждения футеровки канальной части печи.

4. Механизма поворота.

Режим работы печи — непрерывный. Слив металла из печи в миксер производится после каждой плавки.

Подготовленная шихта загружается в печь несколькими порциями через верхний проем.

В печи обязательно должен быть остаток металла — «болото» — для замыкания плавильных каналов и для погружения загруженной порции шихты в жидкий металл.

Печь предназначена для плавки латуней и меди. Плавка латуней производится под слоем флюса. Плавка меди и ее рафинирование (обескислороживание) производится под слоем древесного угля толщиной 300—400 мм. Для загрузки угля на торцевой стенке печи предусмотрен люк. В случае необходимости в печь может быть подан защитный газ.

Готовый металл передается из печи в ковш или желоб через лётку, расположенную на торцевой стенке печи, а далее в миксер. Ось лётки совпадает с осью вращения печи.

У сливной лётки сделана камера, сообщающаяся с ванной печи. Это позволяет выдавать из печи металл, свободный от шлака и угля. Для чистки камеры имеется верхний люк.

Печь может вращаться в обе стороны на угол 50°. Слив плавки производится при повороте печи на 35°. Вращение печи, а также возврат ее в исходное положение ограничивается установкой конечных выключателей.

Принцип работы печи предусматривает замену вышедших из строя индукционных единиц новыми, заранее высушенными и разогретыми, без остановки печи в целом. Для замены вышедшей из строя индукционной единицы печь поворачивают на такой угол, при котором можно освободить от металла вышедшую из строя индукционную единицу.

Вращение печи производится при ее отключении. Съем индукционных единиц производится с помощью мостового крана.

Полный слив металла из печи производится в аварийном случае в запасной ковш через пробивную лётку, расположенную на торцевой стенке печи, значительно ниже основной сливной лётки.

Каждая индукционная единица печи питается через свой однофазный многоступенчатый трансформатор мощностью 400 кв·а; таким образом, у печи установлено 6 трансформаторов. Конструкцией печи предусмотрена возможность измерения и регулирования температуры металла с помощью постоянно погруженной в него термомпары.

Регулирование мощности печи производится изменением ступеней напряжения на питающих трансформаторах.

Токоподвод к печи осуществляется гибкими кабелями.

Техническая характеристика электропечи ИЛТ-16

	Латунь	Медь
Емкость печи полезная, <i>т</i>		16
Емкость канальной части, <i>т</i>		7,75
Емкость полная, <i>т</i>		22,75
Мощность печи, установленная (по трансформаторам), <i>кв·а</i>	400	2400
Мощность печи, потребляемая, <i>квт</i>	1980	1600
Количество индукционных единиц		6
Мощность индукционной единицы (потребляемая), <i>квт</i>	330	267
Схема питания	Каждая индукционная единица от своего однофазного трансформатора, напряжение В Н. 6 или 10 кв	
Частота, <i>пер/сек</i>		50
Напряжение (номинальное), <i>в</i>		500
Коэффициент мощности печи без компенсации	0,67	0,45
с компенсацией	1	1
Рабочая температура (максимальная) <i>С</i>		1200
Мощность холостого хода, <i>квт</i>		200
Удельный расход электроэнергии печью на расплавление и перегрев, <i>квт·ч/т</i>	19с	267
Время расплавления, <i>ч</i>	1,4	2,3
Производительность (по расплавлению), <i>т/ч</i>	10	"
Расход охлаждающей воды, <i>л/ч</i>		3000
Перепад давления воды, <i>атм</i>		1
Максимальный вес печи с металлом <i>т</i>		80,25
Вес металлоконструкций печи, <i>т</i>		46,7

Электроннолучевые печи

В современной технике нельзя обойтись без новых материалов, особенно тугоплавких или очень чистых, которые не могут быть получены методами прежней технологии. Одним из видов новой

технологии является вакуумная электроннолучевая плавка. Электроннолучевой нагрев позволяет решить ряд задач, непосильных иным способом нагрева. Электронные пучки большой мощности, сконцентрированные на сравнительно небольшой площади, позволяют плавить такие металлы, как вольфрам, молибден, ниобий, тантал и др.

Поддержание жидкой ванны в вакууме неопределенно длительное время создает необходимые условия для вакуумного рафинирования этих и других металлов и сплавов.

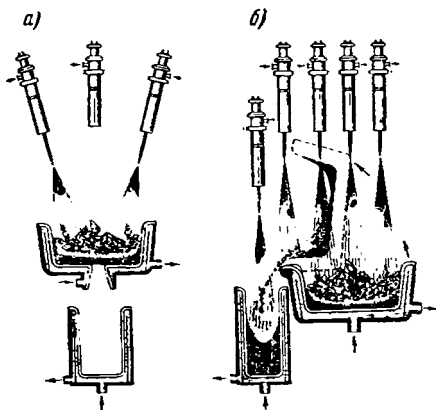


Рис. 32. Схема электроннолучевых печей для литья

Электронные пучки большой мощности при нагреве не вносят в расплав никаких загрязнений, что обеспечивает получение сверхчистых металлов. Электроннолучевые установки оказались более экономичными, чем установки высокочастотные и дуговые.

В электрических лучевых печах электрическая энергия превращается в тепло в процессе прохождения через жидкие и твердые тела электронных пучков большой мощности.

Электроннолучевые установки бывают двух типов: с кольцевым катодом и с электронными пушками.

На рис. 32 изображены схемы электроннолучевых печей с выпуском металла через дно (а) и с наклоняющимся тиглем и нагревом струи металла и металла в изложнице (б). Нагрев ванны производится электронными пушками. Средняя пушка включается незадолго до момента разлива для расплавления металла на дне печи. Схема рабочего процесса электронноплавильной установки с

кольцевым катодом показана на рис. 33, а плавильная установка с четырьмя аксиальными (осевыми) электронными пушками для отливки слитков — на рис. 34.

Установка СКБ-5402 с радиальными пушками для плавки тугоплавких металлов и их сплавов методом электронной бомбардировки в вакууме (ВНИИЭТО) показана на рис. 35.

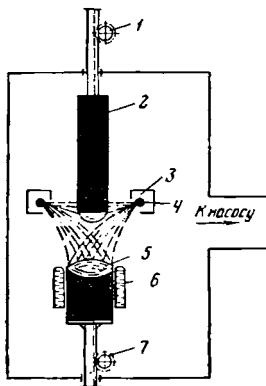


Рис. 33. Схема рабочего процесса электронно-плавильной установки с кольцевым катодом:

1 — механизм подачи расходуемой заготовки; 2 — расходуемая заготовка; 3 — экран электростатической фокусировки электронного пучка; 4 — катод; 5 — выплавляемый слиток; 6 — медный водоохлаждаемый кристаллизатор печи; 7 — механизм вытягивания слитка

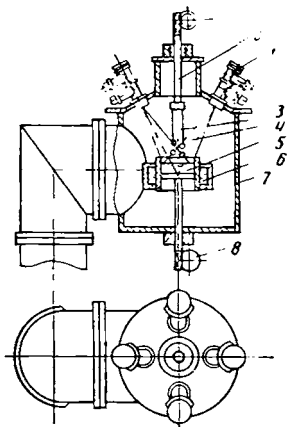


Рис. 34. Плавильная установка с четырьмя аксиальными электронными пушками:

1 — электронная пушка; 2 — механизм подачи расходуемой заготовки; 3 — экран электростатической фокусировки; 4 — электронный пучок; 5 — слиток; 6 — водоохлаждаемый кристаллизатор; 7 — плавильная камера; 8 — механизм вытягивания слитка

Установка состоит из плавильной камеры, которая расположена вертикально и разделена по высоте на две части. Нижняя часть камеры является плавильной и в ней устанавливается сменный водоохлаждаемый кристаллизатор и поддон. Плавку также можно производить в водоохлаждаемой ванне, которая устанавливается вместо кристаллизатора. В верхней части камеры помещается электроннолучевая радиальная пушка конструкции Института электросварки им. Патона. Под камерой располагается механизм вытягивания слитка, привод которого позволяет регулировать скорость вытягивания слитка в пределах от 0,6 до 66 мм/мин. Расплавление

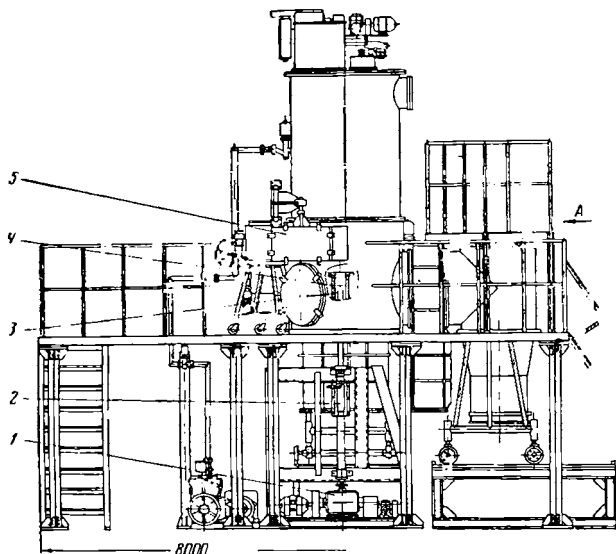
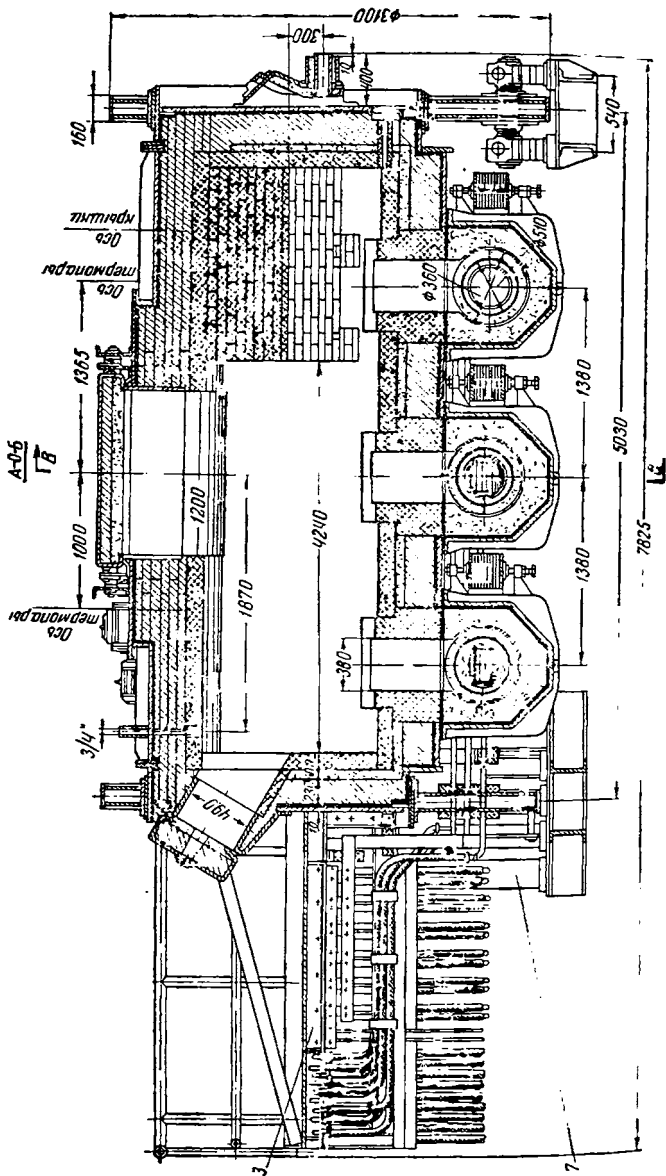


Рис. 35. Электрическая установка СКБ-5402 (ВНИИЭТО) с радиальными
тронной бомбардировки

1—механизм вытяжки слитка; 2—механизм подъема; 3—кристаллизатор; 4—поддон; 5—

мелкий металл в виде пакетов штабиков или цилиндрических заготовок механизмом подачи подается вертикально в плавильную камеру. Механизм подачи смонтирован на камере загрузки, которая устанавливается на плавильной камере. Скорость подачи расплавляемого материала регулируется в пределах от 0,5 до 50 мм/мин. Механизм подачи расплавляемого металла может работать в автоматическом режиме. В данной установке можно плавить также и сыпучие материалы. В этом случае на плавильную камеру устанавливают шнековый питатель вместо механизма подачи расплавляемого материала. Вакуум в плавильной камере поддерживается в пределах $1 \cdot 10^{-4} \div 1 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст. ($133 \cdot 10^{-4} \div 133 \cdot 10^{-5}$ н/м²) двумя вакуумными агрегатами ВА-20-1, вакуумным насосом 2ДВН-500 и двумя форвакуумными насосами ВН-4Г. Вакуум в камере пушки $1 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст. ($133 \cdot 10^{-4}$ н/м²) поддерживается вакуумным агрегатом ВА-5-4 и форвакуумным насосом ВН-1МГ. Камера загрузки откачивается вакуумным насосом Н-5С. Выплавляемый спусок отводится на тележку.



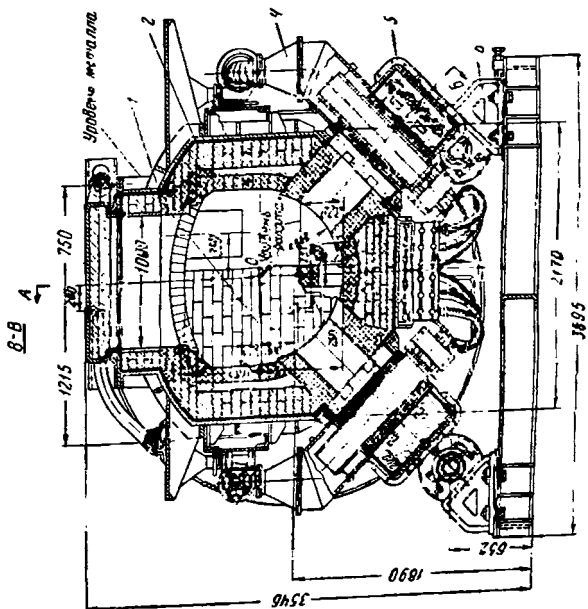
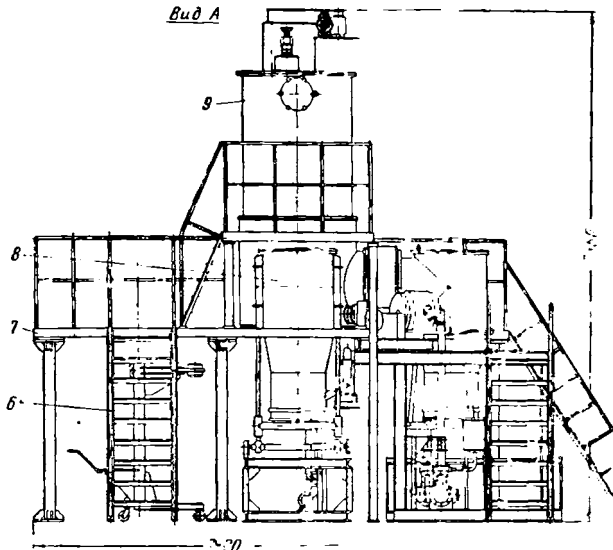


Рис. 31. Индукционная печь ИЛТ-16 промышленной частоты с
железным сердечником емкостью 16 т для плавки сплавов на
медной основе (латуней и меди):

1 — корпус; 2 — футеровка; 3 — шихтовочка; 4 — угловый вентилятор;
5 — индукционная катушка; 6 — орожа; 7 — мелкий взорог;
8 — индукционная катушка

Вид А



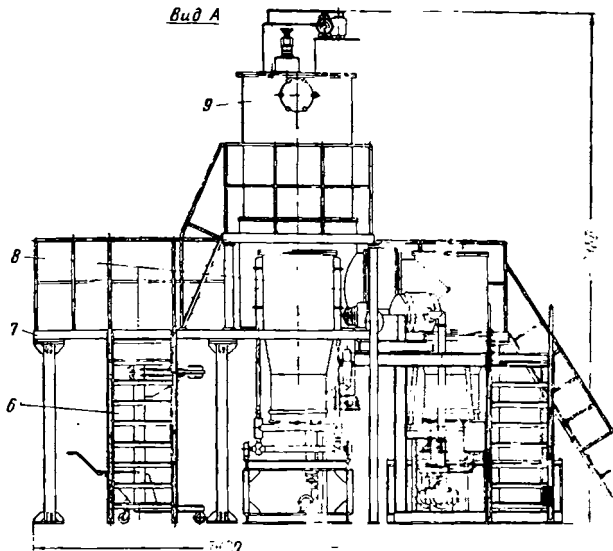
пушки для плавки тугоплавких металлов и их сплавов методом электролиза в вакууме:

8 — камера; 6 — тележка; 7 — рама; 9 — система вакуумная; * — механизм подачи

Техническая характеристика установки СКБ-5402

Назначение	Для электролиза тугоплавких металлов
Мощность электроннолучевой радиальной пушки, кВт	200—400
Напряжение питающей сети, В	220/380
Разгоняющее напряжение постоянного тока, В	15 000
Вакуум в камере пушки, мм рт. ст.	$5 \cdot 10^{-4}$ — $1 \cdot 10^{-5}$
Вакуум в плавильной камере, мм рт. ст.	$5 \cdot 10^{-4}$ — $1 \cdot 10^{-5}$
Диаметр слитка, мм	75; 100; 150; 200
Длина слитка, мм	700
Ванна, мм	150; 1 = 50 115; 1 = 50
Расход охлаждающей воды, м ³ /ч	0,30
Габаритные размеры, мм	8000 × 3600 × 7400
Вес установки, т	21,16

Вид А



пушками для плавки тугоплавких металлов и их сплавов методом электронки в вакууме:

6 — камера; 7 — тележка; 8 — рама; 9 — система вакуумная; 10 — измеритель температуры

Техническая характеристика установки СКБ-5402

Назначение	Для электроннолучевой плавки металлов
Мощность электроннолучевой радиальной пушки, <i>квт.</i>	250—400
Напряжение питающей сети, <i>в</i>	220/380
Разгоняющее напряжение постоянного тока, <i>в</i>	15 000
Вакуум в камере пушки, <i>мм рт. ст.</i>	$5 \cdot 10^{-3}$ — $1 \cdot 10^{-4}$
Вакуум в плавильной камере, <i>мм рт. ст.</i>	$5 \cdot 10^{-4}$ — $1 \cdot 10^{-5}$
Диаметр слитка, <i>мм</i>	75; 100; 150; 200
Длина слитка, <i>мм</i>	700
Ванна, <i>мм</i>	100; 150; 200
Расход охлаждающей воды, <i>л/ч</i>	20
Габаритные размеры, <i>мм</i>	8000 × 7360 × 7400
Вес установки, <i>т</i>	21,16

По сравнению с вакуумными дуговыми и индукционными электродными установками для электроннолучевой плавки металлов имеют следующие преимущества:

1. Расплавление металлов происходит в высоком вакууме.
2. Металл плавится в незагрязненной водоохлаждаемой изложнице.
3. Можно плавить любые тугоплавкие металлы.
4. Возможно гибкое управление мощностью пушки в широком диапазоне.

ТЕХНОЛОГИИ ПЛАВКИ И РАЗЛИВКИ СПЛАВОВ ТЯЖЕЛЫХ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

§ 1. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ, СВОЙСТВА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Медные сплавы

Медные сплавы в зависимости от химического состава подразделяются на:

а) л а т у н и (сплавы меди с цинком) простые или двойные и многокомпонентные с добавками алюминия, кремния, марганца, никеля, железа, свинца и др. (специальные латуни);

б) о л о в я н н ы е б р о н з ы — сплавы меди с оловом и др. добавками (свинец, фосфор, цинк и др.);

в) б е з о л о в я н н ы е б р о н з ы — сплавы меди с алюминием, свинцом, кремнием, бериллием, марганцем, никелем и др. компонентами.

М е д н о ц и н к о в ы е с п л а в ы (латуни) являются наиболее распространенными в промышленности благодаря своим высоким механическим, технологическим и коррозионным свойствам. По технологическому признаку медноцинковые сплавы разделяются на *деформируемые* (обрабатываемые давлением) и *литейные*. Наименования, условные обозначения марок, химический состав и механические свойства медноцинковых специальных литейных латуней по ГОСТ 1019—47 приведены в табл. 3 и 4.

Латуни литейные в чушках, предназначенные для производства отливок из литейных сплавов по ГОСТ 1019—47 должны соответствовать требованиям ГОСТ 1020—60 (табл. 5).

Диаграмма состояния сплавов медь — цинк представлена на рис. 36. В твердом состоянии сплавы медь — цинк образуют ряд твердых растворов (фаз.)

Фазы, близкие по своему составу к чистым металлам (α и η) являются типичными твердыми растворами на базе этих металлов. Так, α -фаза представляет собой твердый раствор цинка в меди и η -фаза — твердый раствор меди в цинке.

Основу β -фазы составляет соединение CuZn , γ -фазы — соединение $\text{Cu}_3\text{Zn}_{13}$ и ϵ -фазы — соединение CuZn_{13} .

Практически применяемые латуни состоят из α -, $\alpha + \beta$ - и β -кристаллов. Соответственно структуре и сами сплавы называются: α -, $\alpha + \beta$ - и β -латунями.

Т а б л и ц а 3
Мелношпиковые специальные литейные латуни
(ГОСТ 1019—47)

Наименование латуни	Марка латуни	Химический состав, %											Примерное назначение	
		основные компоненты						примеси, не более						
		медь	алюминий	железо	марганец	цинк	олово	свинец	никель	олово	железо	алюминий		доф. всего
Латунь алюминиевая	ЛА67-2,5	66—68	2—3	—	—	—	—	—	—	1,0	1,0, 0,1	0,5, 0,8	—	3,4
Латунь алюминий-цинковая	ЛАМЖц 66-6-3-2	64—68	6—7	2,0—4,0	1,5—2,5	—	—	—	—	1,0	1,0, 0,1	—	—	2,1
Латунь железисто-алюминиевая	ЛАЖ60-1-1Л	58—61	0,75—1,5	0,75—1,5	0,1—0,6	—	0,2—0,7	—	—	0,4	—	—	0,01	0,70
Латунь кремнистая	ЛК 80-3Л	79—81	—	—	—	2,5—4,5	—	—	—	0,5	0,3, 0,1	1,0, 0,6, 0,1	—	2,8
Латунь кремнисто-свинцовая	ЛКС 80-3-3	79—81	—	—	—	2,5—4,5	—	2—4	—	—	0,3, 0,1	1,0, 0,6, 0,3	—	2,0
Латунь марганцово-свинцовая	ЛМцС 58-2-2	57—60	—	—	—	1,5—2,5	—	1,5—2,5	—	—	0,5, 0,1	—	0,8, 1,0	2,5

О с т а т о к

Таблица 4

Механические свойства и удельный вес медноцинковых литейных сплавов
(ГОСТ 1019—47)

Марка латуни	Состояние материала	Удельный вес, г/см ³	Предел проч-ности при растяжении, кг/мм ²	Относительное удлинение, %
			не менее	
ЛА67-2,5	Литье в кокиль	8,5	40	15
	Литье в землю		30	12
ЛАЖМц66-6-3-2	Литье в кокиль	8,5	65	7
	Литье в землю		60	7
	Центробежное литье		70	7
ЛАЖ60-1-1Л	Литье в кокиль	8,5	42	18
	Литье в землю		38	20
ЛК80-3Л	Литье в кокиль	8,3	30	15
	Литье в землю		25	10
ЛКС80-3-3	Литье в кокиль	8,6	30	15
	Литье в землю		25	7
ЛМцС58-2-2	Литье в кокиль	8,5	35	8
	Литье в землю		25	10
	Литье в кокиль		30	4
ЛМцОС	Литье в землю	8,5	30	6
	Литье в кокиль		50	10
ЛМиЖ55-3-1	Литье в землю	8,5	45	15
ЛМиЖ72-1-1	Литье в землю	8,3	50	15
ЛС59-1Л	Центробежное литье	8,5	20	20

Латуни литейные в чушках
(ГОСТ 1020-60)

Марки латуни	Химический состав, %										
	основные компоненты						примеси, не более				
	цинк	свинец	олово	железо	марганец	кремний	никель	сурьма	магний	алюминий	фосфор
ЛА	63-68	2-3	—	—	—	—	—	1,0	1,0	0,1	0,5
ЛАЖМц	63-68	6-7	2,0-4,0	1,5-2,5	—	—	—	1,0	1,0	0,1	—
ЛАЖ	56-61	0,75-1,5	0,75-1,5	0,1-0,6	—	—	—	0,4	—	0,1	—
ЛК	76-81	—	—	—	—	2,5-4,5	—	0,5	0,3	0,1	1,0
ЛКС	76-81	—	—	—	—	2,5-4,5	—	—	0,3	0,1	1,0
ЛМцС	55-60	—	—	—	1,5-2,5	—	—	—	0,5	0,1	—
ЛМцОС	55-60	—	—	—	1,5-2,5	—	—	—	0,5	0,1	—
ЛМцЖ1	51-58	—	0,5-1,5	—	3-4	—	—	0,5	0,5	0,1	—
ЛМцЖ2	50-55	—	0,5-1,5	—	4-5	—	—	0,5	0,5	0,1	—
ЛС	56-61	—	—	—	—	—	—	—	—	0,05	—
ЛОС	60-80	—	—	—	—	—	—	—	—	0,2	—
ЛМцЖА	58-62	0,5-1,0	0,5-1,1	1,5-2,5	—	—	0,5	1,0	1,0	0,1	—

Примечания

1. В латуни марки ЛК и ЛКС допускается содержание никеля в количестве до 0,3%, в счет суммы примесей и в латуни остальных марок — в количестве до 1,0% за счет меди.

2. Примеси, не перечисленные в таблице, учитывают в общей сумме примесей. Вес чушек — не более 42 кг.

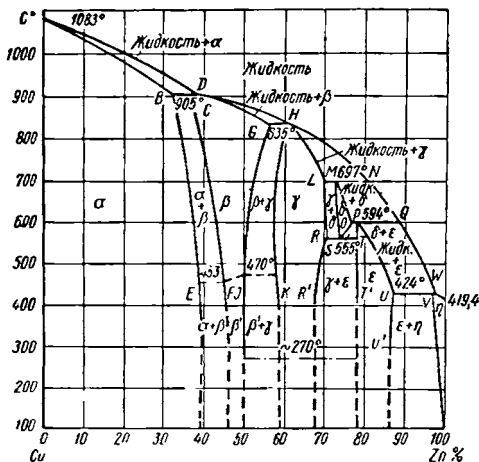


Рис. 36. Диаграмма состояния сплавов медь - цинк

К α -латуням относятся: красный томпак (ЛТ90) с содержанием 90% Cu и 10% Zn, полутомпак с 80% Cu и 20% Zn, латунь Л68 с 68% Cu, применяемая для производства конденсаторных труб и лент, латунь Л62 — для изготовления листов, латунь морская ЛМ70 с 70% Cu, 1,0—1,5% Sn и 29—28,5% Zn — для труб, и латунь ЛМ62 с 62% Cu — для листов и лент.

К $\alpha + \beta$ -латуням относятся латуни Л59, ЛС59 и др., обрабатываемые давлением и волочением. Латуни, содержащие медь в пределах 48—54%, применяются исключительно в виде припоев.

Иногда медноцинковые сплавы (специальные латуни) встречаются под названием бронзы (например, латунь оловянная морская марки ЛО62-1), так как по своим свойствам они весьма близки к ним и часто служат их заменителями.

Медноцинковые сплавы используются для изготовления прутков, труб, лент, листов, проволоки, поковок, штамповок и литых деталей: арматуры, подшипников, втулок и др. деталей, работающих в различных агрессивных средах.

Оловянные бронзы, так же как и латуни, находят широкое применение в промышленности, благодаря их высоким механическим, технологическим, коррозионным и антифрикционным свойствам. По технологическому признаку медно-оловянные сплавы разделяются на деформируемые (обрабатываемые давлением)

и литейные. Оловянные бронзы, содержащие медь и олово, называются *двойными* или *двухкомпонентными*, а более сложные, содержащие фосфор, цинк, свинец, никель и др. компоненты — *многокомпонентными*. Обозначения марок, химический состав и примерное назначение нестандартных литейных оловянных бронз, применяемых в СССР, приведены в табл. 6. Химический состав, механические свойства и примерное назначение оловянных вторичных литейных бронз (по ГОСТ 613—50) приведены в табл. 7 и 8.

Химический состав вторичных чушковых оловянных бронз, предназначенных для подшивки оловянных бронз по ГОСТ 614—50, приведен в табл. 9.

Все оловянные бронзы отличаются большим температурным интервалом затвердевания между линиями ликвидуса и солидуса, что позволяет получать отливки сложной конфигурации без концентрированных усадочных раковин, но затрудняет получение их высокой герметичности.

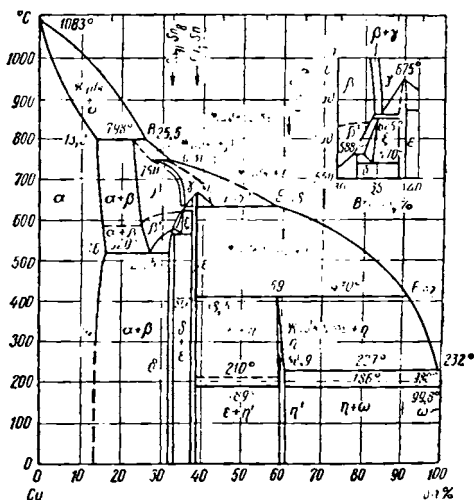


Рис. 37. Диаграмма состояния сплавов медь — олово

На рис. 37 показана диаграмма состояния сплавов медь — олово. Типичным твердым раствором олова в меди является α -фаза.

Фазы β , γ и δ построены на базе интерметаллических соединений.

Т а б л и ц а 6

Химический состав нестандартных литейных оловянных бронз, применяемых в СССР, %

Марка сплава	Основные компоненты (в % от литейного)				Примеси, не более							Примерные значения, мм
	Sn	Pb	прочие	Sb	Fe	Bi	P	Zn	прочие	всего		
Бр. 019 Бр. 019-16-4 Бр. 019-16-5 Бр. 019-12-7	18,0—19,5 15,0—17,0 15,0—17,0 11,0—13,0	— 4,0—6,0 4,0—6,0 6,0—8,0	— — — —	0,3 — 0,3 0,5	0,3 0,5 0,3 0,5	0,01 — 0,01 0,005	0,1 0,1 0,1	0,2 0,5 0,2 1,0	0,5 Pb — — —	1,2 0,8 0,8 1,5	Маслоуплотнительные кольца Особо сложное фасонное литье, обрабатываемое с внутренней и наружной точкой и испытываемое гидравлически и раздушным давлением свыше 40 ат (4 кг/см ²)	
Бр. 10-5	9,0—11,0 9,0—11,0	2,0—3,25 3,0—6,0	3,0— 4,0 Ni —	0,3 0,3	0,3 0,3	0,01 0,005	0,1 —	0,5 1,0	— —	1,2 1,5	Направляющие клапаны выпуска Детали арматуры, работающей при температуре не выше 180°C, кожухи быстросъемных центробежных насосов, вкладыши подшипников, работающих при высоких удельных давлениях, малых и умеренных скоростях, воздушная арматура высоко-	

Бр.010	9,0—11,0	—	—	0,5	0,2	0,005	0,05	—	0,02Mg	1,0	кого давления, корпуса клинкеров, корпуса клапанов
Бр.ОЦ10-2	9,0—11,0	—	2,0—4,0Zn	0,5	0,3	0,005	—	—	0,05Pb	1,0	Арматура и сложное фасонное литье
Бр.ОС10-10	8,0—10,0	6,0—11,0	—	0,3	0,25	0,01	0,3	0,2	—	0,8	Арматура, подшипниковое и сложное фасонное литье
Бр.ОСж-12	7,0—9,0	11,0—13,0	—	0,5	0,2	0,005	0,05	—	0,02Mg	0,75	Подшипники и ртутники для высоких давлений или больших скоростей скольжения
Бр.ОЦ8-4	7,0—9,0	—	4,0—6,0Zn	0,5	0,3	0,005	—	—	0,5Pb	1,0	Подшипники для голых удельных давлений
Бр.ОЦС8-4-3	7,0—9,0	2,0—4,0	3,0—5,0Zn	0,3	0,3	0,005	0,05	—	0,2As	1,0	Арматура
Бр.ОСж-25	4,0—5,0	23,0—26,0	—	0,5	0,2	0,005	0,10	—	0,2Mg	0,8	Тонкостенное литье с сложной конфигурацией с резкими переходами, работающее в активных коррозионных средах при температуре выше 200°C
Бр.ОЦ1-22	1,0—2,0	20,0—24,0	0,1P	0,3	0,25	0,005	—	0,1	0,1As	0,6	Арматура корпуса крышки и клинья клапанов, корпус насосов, кранов, манометров и кингстонов
											Подшипники, ступки, маслоуплотнители, втулки
											Высокоэластичные кожаные и шатунные подшипники

Марка бронзы	Основные элементы (в % от массы)				Примеси, не более						Примерное назначение
	Sn	Pb	прочие	Sb	Fe	Bi	P	Zn	прочие	всего	
Бр. ОНЦ11-4-3	10,0-12,0	3,0	4,0Ni	0,1	0,2	0,005	0,05	—	0,2Mg	0,75	Ответственные детали, работающие при повышенных давлениях и температуре. Направляющие шпильки выхлопных клапанов авиамоторов

Примечания. 1. В бронзах остальных марок, кроме Бр. ОС16-4, А1 < 0,02%, Si < 0,02%.
2. В бронзах марок Бр. ОС12-7, Бр. ОС16-6, Бр. ОЦ10-2, Бр. ОС8-12, Бр. ОЦ18-4, Бр. ОС5-25, Бр. ОНЦ11-4-3 примесь S < 0,05%.

Т а б л и ц а 7

Химический состав оловянных вторичных литейных бронз (ГОСТ 613—50)

Марка бронзы	Основные компоненты					Примеси, не более			
	олово	цинк	свинец	никель	медь	сурьма	железо	алюминий	кремний
Бр. ОЦНЗ-7-5-1	2,5—4,5	6,0—9,5	3,0—6,0	0,5—1,5	остальное	0,2	0,4	0,02	0,02
Бр. ОЦСЗ-12-5	2,0—4,0	8,0—15,0	3,0—6,0	—	—	0,5	0,4	0,02	0,02
Бр. ОЦС5-5-5	4,0—6,0	4,0—6,0	4,0—6,0	—	—	0,5	0,4	0,05	0,05
Бр. ОЦС6-6-3	5,0—7,0	5,0—7,0	2,0—4,0	—	—	0,5	0,4	0,05	0,05
Бр. ОЦС4-4-17	3,5—5,5	2,0—6,0	14,0—20,0	—	—	0,5	0,4	0,05	0,05
Бр. ОЦСЗ-5-6-5	3,0—4,5	5,0—7,0	4,0—6,0	—	—	0,5	0,4	0,05	0,05

**Механические свойства оловянных вторичных литейных бронз
(ГОСТ 613—50)**

Марка бронзы	Вид литья	Предел прочности при растяжении, кг/мм ²	Относительное удлинение, %		Примечания
			в горячем состоянии	в холодном состоянии	
Бр.ОЦСНЗ-7-5-1	Литье в землю	18	8	60	Арматура, работающая в условиях морской и пресной воды, а также пара и давления до 25 кг/см ²
	Литье в кокиль	21	5	60	
Бр.ОЦСЗ-12-5	Литье в землю	18	8	60	Арматура, работающая в условиях пресной воды, пара и давления до 25 кг/см ²
	Литье в кокиль	21	5	60	
Бр.ОЦС5-5-5	Литье в землю	15	6	60	Антифрикционные детали
Бр.ОЦС6-6-3	Литье в кокиль	18	4	60	
	Литье в землю	15	6	60	
Бр.ОЦС4-4-17	Литье в кокиль	18	4	60	Детали для тракторов
	Литье в землю	15	5	60	
Бр.ОЦСЗ,5-6-5	Литье в кокиль	15	6	60	
	Литье в землю	18	4	60	

Примечания.

1. В бронзах марок Бр.ОЦСНЗ-7-5-1 и Бр.ОЦСЗ-12-5 сумма примесей алюминия и олова не должна превышать 0,5%. Если бронзы этих марок не предусматриваются для отливки деталей, работающих под ударным воздействием, то по согласованию с заказчиком, допускается содержание примесей алюминия и олова до 0,5%.

2. В бронзах всех марок, кроме Бр.ОЦСНЗ-7-5-1, допускается содержание никеля до 1,5% за счет содержания меди.

3. Механические свойства приняты для сплавов с содержанием меди не менее 40% и толщиной стенок не 10 мм и с расчетной длиной 100 мм.

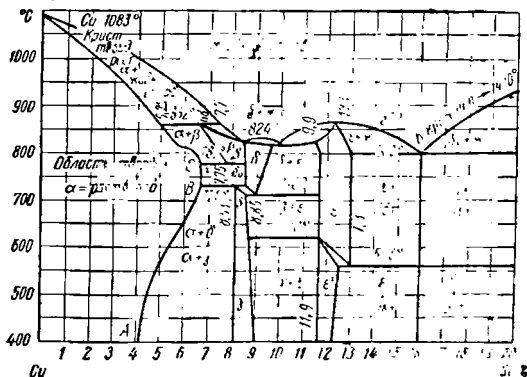


Рис. 38. Диаграмма состояния сплавов медь — олово

Химический состав вторичных чушковых оловянных бронз
(ГОСТ 614-50 с изменениями, введенными в 1962 г.)

Марка бронзы	Основные компоненты					Примеси, не более				Примечание
	свинец	цинк	спинец	никель	медь	сурьма	железо	алюминий	кремний	песок
Бр.ОЦСЗ-8-4-1	2,5—4,5	7,0—10,0	3,0—6,0	0,5—1,0	—	0,5	0,40	0,02	0,02	1,1
Бр.ОЦСЗ-7-5-1	2,0—4,0	10,0—16,0	3,0—6,0	—	—	0,5	0,40	0,02	0,02	1,1
Бр.ОЦСЗ-12-5	3,0—4,0	4,5—7,0	4,0—6,0	—	—	0,5	0,40	0,05	0,05	1,1
Бр.ОЦСЗ-6-3	3,0—4,0	6,0—9,0	2,0—4,0	—	—	0,5	0,40	0,05	0,05	1,1
Бр.ОЦС4-5-6	3,5—4,5	6,5—9,0	4,0—6,0	—	—	0,5	0,40	0,05	0,05	1,1

Примечания.

- В тонзаду марок Бр.ОЦСЗ-8-4-1 и Бр.ОЦСЗ-13-14 сумма примесей кремния и алюминия не должна превышать 0,02%.
- Если тонзаду марок не предназначается для отливки деталей, работающих под гидравлическим давлением, то, по согласию сторон, допускается изменение примесей алюминия до 0,05% и кремния до 0,05%.
- В бронзах с марками Бр.ОЦСЗ-8-4-1, допускается содержание никеля до 1,50% за счет содержания меди.

Бронзы с марками Бр.ОЦСЗ-8-4-1 и Бр.ОЦСЗ-13-14 и тонзаду цветных металлов в чушки—гладкие или с пережками, весом не более 12 кг каждая.

Соединение Cu_3Sn является базой β -твердого раствора, $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_2$ — основой δ -фазы, Cu_3Sn — базой твердых растворов γ — ϵ .

δ -фаза не выделяется непосредственно из жидкого раствора. При сравнительно низких температурах (350°C) δ -фаза ($\text{Cu}_{31}\text{Sn}_2$) распадается на фазы α и ϵ (Cu_3Sn).

Безоловянные или специальные бронзы, в зависимости от содержания основного легирующего элемента подразделяются на группы: *алюминиевые, марганцевые, кремнистые, свинцовые, бериллиевые* и др. Безоловянные бронзы применяются для производства деформируемых и литых полуфабрикатов и изделий. Химический состав и содержание примесей безоловянных бронз по ГОСТ 493—54 указаны в табл. 10 и 11.

Механические свойства термически необработанных литейных бронз приведены в табл. 12.

На рис. 38 показана диаграмма состояния сплавов медь — кремний. Основным легирующим элементом в кремнистых бронзах является кремний, содержание которого колеблется в пределах от 2 до 4,5%. При содержании кремния до 5,4% последний образует твердый раствор при температуре 830°C . С понижением температуры растворимость кремния в α -твердом растворе снижается и достигает примерно до 3,5% при температуре 300°C .

Основным легирующим элементом алюминиевых бронз является алюминий, содержание которого колеблется в пределах 5—12%.

Алюминиевые бронзы обладают достаточно высокими антифрикционными и коррозионными свойствами в атмосферных условиях, морской воде, кислотных средах.

На рис. 39 показана диаграмма состояния сплавов медь — алюминий. При содержании алюминия в алюминиевых бронзах до 10%, последний образует с медью твердый раствор α . С увеличением содержания алюминия в сплаве растет количество эвтектоида ($\alpha + \gamma$). При содержании от 12 до 16% Al сплав состоит из эвтектоида и кристаллов γ . Твердый раствор γ обладает повышенной твердостью и хрупкостью. Поэтому сплавы меди с алюминием, содержащие более 11—12% Al, из-за значительного количества хрупкого эвтектоида ($\alpha + \gamma$) не применяются в технике.

Цинковые сплавы

Цинковые сплавы довольно широко применяются в промышленности. Основными легирующими компонентами цинковых сплавов являются алюминий и медь.

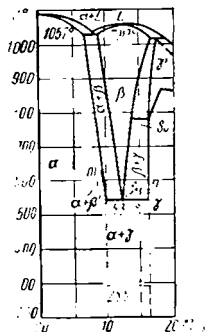


Рис. 39. Диаграмма состояния сплавов медь — алюминий

Бронзы безоловянные (ГОСТ 493-54). Химический состав и виды изделий

Алима состав	Химический состав, %						Виды изделий
	алюминий	бериллий	железо	марганец	никель	кремний	
Бр. А5	4-6	—	—	—	—	—	Литье, поковок
Бр. А7	6-8	—	—	—	—	—	Литье, поковок
Бр. АЖц12	8-10	—	—	1,5-2,5	—	—	Литье, поковок
Бр. АЖц12Л	8-10	—	—	1,5-2,5	—	—	Литье, поковок
Бр. АЖц10-2	9-11	—	—	1,5-2,5	—	—	Литье, поковок
Бр. АЖц10-4	9-11	—	2-4	—	—	—	Литье, поковок
Бр. АЖц9-17	9-10	—	2-4	—	—	—	Литье, поковок
Бр. АЖц10-1,5	9-11	—	2-4	1-2	—	—	Литье, поковок
Бр. АЖСТ 1,5-1,5	6-8	—	1-1,5	—	—	—	Литье, поковок
Бр. АЖН10-4	9,5-11	—	3,5-5,5	—	—	—	Литье, поковок
Бр. АЖН10-4Л	9,5-11	—	3,5-5,5	—	—	—	Литье, поковок
Бр. АЖН11-6-6	10,5-11,5	—	5-6,5	—	—	—	Литье, поковок
Бр. Б2	—	1,9-2,2	—	—	—	—	Литье, поковок
Бр. Б25	—	2,3-2,6	—	—	—	—	Литье, поковок
Бр. КМц3-1	—	—	—	1-1,5	—	2,75-3,5	Литье, поковок
Бр. КН1-3	—	—	—	—	—	—	Литье, поковок
Бр. Мц5	—	—	—	0,1-0,4	—	0,6-1,1	Литье, поковок
Бр. С30	—	—	—	4,5-5,5	—	—	Литье, поковок
Бр. СН60-2,5	—	—	—	—	2,25-2,75	—	Литье, поковок

Примечания.

1. Допускается в бронзе марки Бр. АЖН10-4-4, обрабатываемой давлением, содержание алюминия до 11,5% при этом содержании железа и никеля должно быть не менее 4% каждого.
2. Для монетных легион пределов по содержанию алюминия в бронзе Бр. А5 устанавливаются 4,5-5,5%.

Бронзы безоловянные (ГОСТ 493-54). Допустимое содержание примесей

Марки бронзы	Примеси, % по массе										
	мышьяк	сурьма	олово	кремний	алюминий	цинк	свинец	фосфор	железо	никель	кобальт
Бр.А5	0,01	0,002	0,1	0,1	—	0,5	0,01	0,01	0,5	0,5	1,6
Бр.А7	0,01	0,002	0,1	0,1	—	0,5	0,01	0,01	0,5	0,5	1,6
Бр.АМц9-2	0,01	0,002	0,1	0,1	—	0,5	0,01	0,01	0,5	1,5	1,7
Бр.АМц9-2Л	0,05	0,05	0,2	0,2	—	1,0	0,1	0,1	1,0	1,5	2,8
Бр.АМц10-2	0,05	0,05	0,2	0,2	—	1,0	0,1	0,1	1,0	1,5	2,8
Бр.АЖ9-4	0,01	0,002	0,1	0,1	—	0,5	0,01	0,01	—	1,0	0,5
Бр.АЖ9-4Л	0,05	0,05	0,2	0,2	—	1,0	0,1	0,1	—	1,0	0,5
Бр.АЖМц10-3-1,5	0,01	0,002	0,1	0,1	—	0,5	0,01	0,01	—	0,5	0,5
Бр.АЖС7-1,5-1,5	0,01	0,002	0,1	0,1	—	—	—	—	—	0,5	0,5
Бр.АЖН10-4-4	0,01	0,002	0,1	0,1	—	—	0,02	0,01	—	0,3	0,8
Бр.АЖН10-4-4Л	0,05	0,15	0,2	0,2	—	—	0,05	0,1	—	0,5	1,5
Бр.АЖН11-6-6	0,05	0,05	0,2	0,2	—	—	0,05	0,1	—	0,5	1,5
Бр.Б2	—	—	—	0,15	0,15	—	0,05	—	0,15	—	0,5
Бр.Б2,5	—	—	—	0,15	0,15	—	0,05	—	0,15	—	0,5
Бр.КМц3-1	0,002	0,002	0,25	—	—	0,2	0,01	0,05	0,1	0,5	1,1
Бр.КН1-3	—	—	0,1	0,02	0,02	—	0,15	0,01	0,1	0,1	0,4
Бр.Мц5	0,01	0,002	0,1	0,1	—	0,5	0,01	0,01	0,5	0,4	0,4
Бр.С30	0,1	0,3	0,1	0,02	—	0,5	—	0,1	0,05	0,1	0,4
Бр.СН60-2,5	—	0,5	0,5	—	—	—	—	0,05	0,25	—	1,2

Примечания.

1. Примеси, не указанные в этой таблице, действительная общая сумма примесей.
2. Содержание цинка в бронзе марки Бр.АЖМц10-3-1,5 допускается до 0,2% в тех случаях, когда данный сплав не применяется для изготовления изделий, имеющих сложную форму примесей в этом случае допускается до 1,2%.
3. Содержание свинца в бронзе марки Бр.АЖМц10-3-1,5 допускается до 0,3%, при применении для фасонного литья, иначе фактическая сумма примесей допускается до 1,0%.

Т а б л и ц а 12

Механические свойства термически необработанных линейных бронз (ГОСТ 493-54)

Марка бронзы	Состояние образца	Предел прочности при растяжении	Относительное удлинение	Твердость по Бринеллю
		кг/мм ²	%	мм
Бр.АМц9-2Л	Отливки в кокиль	40	20	90
Бр.АМц10-2	Отливки в земледельческие кокиль	50	12	110
Бр.АЖ9-4Л	Отливки в земледельческие кокиль	40	10	100
Бр.АЖМц10-3-1,5	Отливки в кокиль	50	12	100
Бр.АЖС7-1,5-1,5	Отливки в кокиль	60	12	120
Бр.АЖН10-4-4Л	Отливки в кокиль	30	18	—
Бр.АЖН11-6-6	Отливки в земледельческие кокиль	60	5	170
Бр.С30	Отливки в кокиль	60	2	250
Бр.СН60-2,5	Отливки в кокиль	6	4	25
	Отливки в кокиль	3	5	14

Примечания.

1. Образцы для испытания изготавливаются по ГОСТ 190-54 на расчетной длине и сечении.
2. Твердость по Бринеллю определяется по ГОСТ 190-54.
3. Механические свойства отливок бронз марки Бр.АЖН10-4-4Л и Бр.АЖН11-6-6 соответствуют стандартам на соответствующую продукцию.

Цинковые сплавы по своему назначению подразделяются на сплавы, обрабатываемые давлением, для литья под давлением, типграфские и антифрикционные (ГОСТ 7117 -- 62). Общий недостаток всех цинковых сплавов — их невысокая коррозионная стойкость.

Изделия из сплавов марок ЦАМ10-5 и ЦАМ9-5 должны иметь твердость не менее НВ95.

Сплавы антифрикционные на цинковой основе должны отличаться в виде чушек с пережимами весом не более 20 кг. Поверхность чушек должна быть чистой, без рыхлот, шлаковых и др. посторонних включений.

Химический состав цинковых антифрикционных сплавов приведен в табл. 13.

Т а б л и ц а 13

Химический состав цинковых антифрикционных сплавов
(ГОСТ 7117—62)

Марка сплава	Нормы химического состава, %								
	основные компоненты				примеси, не более				
	алюминий	медь	магний	цинк	свинец	железо	олово	сурьма	кобальт
ЦАМ10-5	10,0—12,0	4,0—5,5	0,03—0,06	остальное	0,03	0,15	0,01	0,02	0,10
ЦАМ9-1,5	9,0—11,0	1,0—2,0	0,03—0,06	остальное	0,03	0,15	0,01	0,02	0,10

Легирующие добавки и примеси влияют на свойства цинковых сплавов следующим образом.

Алюминий улучшает механические и литейные свойства сплавов и изменяет их структуру.

Медь повышает прочность, снижает относительное удлинение и жидкотекучесть сплава.

Железо понижает коррозионную стойкость сплава.

Кадмий понижает механические свойства сплава, задерживает процесс его рекристаллизации, понижает коррозионную стойкость и усиливает объемные изменения в отливках.

Магний является полезной примесью. Он повышает коррозионную стойкость и усиливает объемные изменения в отливках.

Олово, как и цинк, повышает коррозионную стойкость, прочность и твердость сплавов, но снижает относительное удлинение.

Сурьма снижает механические и понижает антифрикционные свойства.

Оловянные и свинцовые сплавы

Сплавы на оловянной и свинцовой основе по своему назначению делятся на шесть групп: *подшипниковые* (бabbitты), *литейные* (для литья под давлением), *типграфские*, *реконструктивные*, *деформируемые* (обрабатываемые давлением) и *припой*.

Подшипниковыми сплавами или баббитами называются антифрикционные сплавы на оловянной, свинцовооловянной и свинцовой основах, применяемые для вкладышей подшипников чугуновых и стальных вкладышей подшипников.

Покрытие тонким слоем баббита (обычно 0,5—0,6 мм толщиной) предохраняет вкладыши подшипников от разрушения при длительной работе за счет упрочняющих добавок сурьмы, меди, никеля и одновременно позволяет им хорошо прирабатываться к вращающемуся валу, благодаря легкой основе сплава. Это дает возможность при низких механических свойствах баббитов воспринимать сравнительно высокие давления и окружные скорости в зонах трения подшипников и вкладышей различных двигателей паровых турбин, быстроходных дизелей, электромоторов, электрогенераторов, компрессоров, турбиналов, станков.

Высокая стоимость и острая дефицитность олова вызывают необходимость замены высокооловянных баббитов малооловянными и безоловянными.

Оловянные баббиты. Основными легирующими элементами оловянных баббитов являются сурьма и медь. Сурьма вводится в сплав для повышения твердости, медь — для устранения ликвации. С этой целью иногда вводится никель. Вредными примесями оловянных баббитов являются мышьяк, железо, свинец, цинк и висмут.

Оловянные баббиты обладают наиболее высокими антифрикционными свойствами и поэтому применяются для изготовления деталей особо ответственного назначения.

Детали, изготовленные из оловянных сплавов, отличаются стабильностью размеров. Химический состав и примерное назначение оловянных баббитов по ГОСТ 1320—55 приведены в табл. 14.

Таблица 14

Химический состав подшипниковых сплавов на оловянной основе (баббитов). %
(ГОСТ 1320—55)

Марка баббита	Основные компоненты (сп—остаток)		Примеси не более					Примерное назначение
	Sb	Cu	Fe	Pb	As	Sn		
Б89	7,25—8,25	2,5—3,5	0,08	0,35	0,55			Для деталей вкладышей подшипников паровых турбин, быстроходных двигателей мощностью более 500 л.с. и для паровых машин, турбокомпрессоров, судовых стационарных паровых машин, мощностью более 100 л.с. электродвигателей мощностью до 500 л.с.
Б83	10—12	5,5—6,5	0,10	0,35	0,55			

Примечания

1. В таблицах, приведенных в табл. 14, марка Б89 содержит данные о весе свинца, который входит в состав баббита.

2. В табл. 14, стр. 25, в строке Азот (N) в Б89 и Б83.

Химический состав свинцовооловянных баббитов, %
(ГОСТ 1320—55)

Вид баббита	Основные компоненты (Рб—остаточные)						Примеси, не более	Примерное назначение*
	Sn	Pb	Cu	Cd	прочие	As	всего	
Б16	15—17	17—19	1,5—2,0	—	—	—	0,30—0,60	Для заливки опорных подшипников паровых турбин, судовых и стационарных паровых машин мощностью до 1200 л. с., локомотивов, гидротурбин, электродвигателей мощностью 250—270 квт, генераторов мощностью до 500 квт, компрессоров и др.
Б6	5—6	14—16	2,5—3,0	1,75—2,25	0,6—1,0	As	—	Дробилок и др.
БН	11—13	15	1,5—2,0	1,25—1,75	0,5—0,9	As	—	Для заливки подшипников нефтяных двигателей металлов, трансмиссий, бензопил, компрессоров, электромоторов мощностью 100—250 квт, шаровых мельниц и др.
БТ	9—11	14—16	0,7—1,1	—	0,05—0,2	—	0,30—0,60	Для заливки подшипников коренных и головных подшипников тракторных и автомобильных моторов.

П р и м е ч а н и я.

1. В баббите Б16 содержание олова не должно быть больше, чем сурымы.
2. В баббите Б16 допускается примесь Cd < 0,1% и Ni < 0,5%.
3. В баббите БТ допускается наличие примеси Cd < 0,1% и Ni < 0,2%.
4. В баббитах всех марок примесь Fe < 0,1%, Sn < 0,15%, Bi < 0,1%.

Свинцовооловянные баббиты. Основой сплава является свинец, а основными легирующими элементами — олово и сурьма. Олово содержится в количестве 5—17%, сурьма — 13—17%. Добавки меди и никеля препятствуют ликвации, повышают антифрикционные и механические свойства (твердость, ударную вязкость и износостойкость баббитов). Мышьяк повышает механические свойства и жидкотекучесть, а кадмий — прочность и твердость сплава. Химический состав по ГОСТ 1320—55 приведен в табл. 15.

Свинцовые баббиты. Из свинцовых баббитов наибольшее применение получили натриекальциевые баббиты. Основу сплава составляет свинец, основные легирующие элементы: натрий, кальций, магний, олово, литий. Олово и магний уменьшают угар натрия и кальция. Олово улучшает также туже поверхности стальных подшипников, литий повышает твердость баббитов. Сурьма является вредной примесью, снижает механические свойства сплава. Химический состав натриекальциевых баббитов по ГОСТ 1209—53 приведен в табл. 16.

Литейные свинцовые сплавы (для литья под давлением) используются для изготовления различных химических и физических приборов, счетчиков, подшипников скольжения, а также деталей, работающих в различных химических средах, за исключением органических кислот, образующих со свинцом ядовитые соединения. Поэтому свинцовые сплавы для изготовления деталей, соприкасающихся с пищевыми продуктами, не применяются.

Основными легирующими элементами свинцовых сплавов являются сурьма, олово и медь.

В последнее время Московским автозаводом им. Лихачева совместно с НАМИ разработан новый подшипниковый сплав СОС6-6 на свинцовой основе, превосходящий по сопротивляемости усталостным напряжениям баббиты на оловянной и свинцовой основах.

Химический состав сплава: Sn = 5,5—6,5%, Sb = 5,5—6,5%, Pb — основа. Примесей, не более: Cu = 0,3%, Fe = 0,1%, Zn = 0,01%, As = 0,05%, Bi = 0,07%, Ni = 0,05% и Cd = 0,05%. Свойства сплава: температура плавления — 280 °С, температура начала расплавления — 247 °С, предел прочности при растяжении — 6—7 кг/мм² (59—69 Мн/м²), относительное удлинение — 12—13%, твердость по Бринеллю HB16—17 (156,8—166,6 Мн/м²).

Вследствие пониженного содержания в сплаве легирующих компонентов он обладает более высокой пластичностью, не содержит в структуре крупных кристаллов хрупких интерметаллических соединений. Лабораторные, стендовые и дорожные испытания сплава на вкладышах автомобильных подшипников показали эксплуатационные преимущества перед ранее применявшимися баббитами.

Химический состав натриекальциевых баббитов, %
(ГОСТ 1203 — 53)

Марка баббита	Основные компоненты					
	кальций	натрий	олово	магний	алюминий	свинец
БКА	0,35—1,15	0,6—0,9	—	—	0,05—0,20	Остальное
БК2	0,35—0,55	0,25—0,50	1,5—2,5	0,04—0,09	—	»

Продолжение табл. 16

Марка баббита	Примеси, не более				
	висмут	сурьма	медь	магний	прочие примеси
БКА	0,1	0,25	—	0,02	0,3
БК2	0,2	0,2	0,15	—	0,3

Примечания.

1. По соглашению между поставщиком и потребителем кальциевый баббит марки БКА должен поставляться с содержанием алюминия менее 0,05%.

2. Вес чушечек должен быть в пределах 24—28 кг.

Пр и п о и применяются для пайки деталей из стали, латуни, меди, свинца и других металлов, а также при изготовлении электро-, радио- и медицинской аппаратуры, авиационных и автомобильных радиаторов, пищевой посуды и других изделий.

Химический состав оловянносвинцовых припоев по ГОСТ 1499—54 приведен в табл. 17.

Т а б л и ц а 17

Химический состав оловянносвинцовых припоев, %
(ГОСТ 1499—54)

Марка припоя	Основные компоненты (Pb—остальное)		Примеси, не более		Примерное назначение
	Sn	Sb	Cu	Ni	
ПОС-40	40—50	0,15	0,05	0,02	Пайка внутренних швов пищевой посуды и медицинской аппаратуры.
ПОС-60	50—60	0,08	0,1	0,02	—
ПОС-50	50—60	0,08	0,1	0,02	—

Марки припоя	Основные компоненты (Pb—остальное)		Примеси не более		Примерное назначение
	Su	Sb	Cu	As	
ПОС40	39—40	1,5—2,0	0,1	0,09	Пайка радиаторов, электро- и радиоаппаратуры и проводов. Пайка латуни, меди, железа, авиационных радиаторов, радиоаппаратуры.
ПОС30	29—30	1,5—2,0	0,15	0,06	
ПОС18	17—18	2,0—2,5	0,15	0,08	Пайка свинца, железа, меди, латуни, тракторных деталей и изделий ширпотреба
ПОСС4-6	3—4	5—6	0,15	0,08	Пайка оловяни жести, латуни, свинца, меди, вырвнивание сварных швов в кузовах легковых автомобилей

Примечание.

В припоях всех марок содержится примесь Bi < 0,1 %, As < 0,05 %, Fe < 0,002 %, каждого, Zn и Al < 0,002 % каждого.

Никелевые и медноникелевые сплавы

Никелевые и медноникелевые сплавы, т. е. сплавы никеля с медью, хромом, марганцем и другими металлами, обладают высокой жаро- и коррозионной стойкостью, высоким удельным электросопротивлением, малым температурным коэффициентом электросопротивления, магнитной проницаемостью и др. Кроме того, никелевые и медноникелевые сплавы обладают высокими механическими свойствами и пластичностью, что позволяет обрабатывать их давлением. Благодаря этим свойствам никелевые и медноникелевые сплавы широко применяются в промышленности для изготовления различных антикоррозионных изделий, электронагревательных приборов для высокотемпературных печей, точных измерительных приборов, термопар и т. п.

В зависимости от содержания компонентов, входящих в состав сплава, различают следующие виды сплавов:

алюмель — сплав никеля с 10% хрома;

монель — сплав никеля с 28% меди, 2,5% железа и 1,5% марганца;

копель — сплав меди с 44% никеля;

константан — сплав меди с 40% никеля и 2% марганца,

мельхиор — сплав меди с никелем (с содержанием никеля в пределах 20—30%);

манганин — сплав меди с 12% марганца и 3% никеля;

нихром — сплав никеля с 20% хрома;

ферронихром — сплав никеля с 15% хрома, 16% железа и 2% марганца;

нейзильбер — сплав меди с 15% никеля и 20% цинка.

§ 2 ШИХТОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИХ ПОДГОТОВКА К ПЛАВКЕ

Шихтовыми материалами для приготовления сплавов цветных металлов могут быть: свежие металлы, паспортные чушки и покупной лом соответствующих марок и сплавов, отходы собственного производства (литники, прибыли, выпоры, брак), ферросплавы и легатуры собственного производства или фабричные, переплав стружки, получаемой при механической обработке литья и заготовок.

Все шихтовые материалы должны храниться в отдельном помещении, строго раздельно по сортам и маркам в соответствии с сертификатами, паспортами и бирками, с указанием номера плавки или марки сплава.

Отходы, возвращаемые из механических цехов, в том числе и стружку, следует хранить по маркам сплавов отдельно от отходов литейного и кузнечно-прессового цехов.

В процессе механической обработки отливок и слитков из цветных металлов и сплавов на машиностроительных заводах образуется значительное количество стружки, достигающее в отдельных случаях 30% и более по отношению к весу готовых отливок и слитков.

Рациональное использование этой стружки, как шихтового материала, является актуальной задачей, так как использование стружки на месте ее образования уменьшает потребность предприятий в свежих цветных металлах и вторичных паспортных сплавах, разгружает транспорт и удешевляет себестоимость изделий. Непременными условиями для рационального использования стружки являются правильное хранение, качественная подготовка и обеспечение переплава стружки с минимальным угаром. Подготовка стружки к плавке производится на специальном участке, оборудованном следующими агрегатами:

а) центрифугой для предварительной очистки стружки от масла и влаги;

б) сепараторной печью барабанного типа для полного удаления масла и влаги;

в) дробилкой для измельчения витой и ленточной стружки;

г) ручными или механическими грохотом для очистки стружки от песка, земли и вылетающей пыли;

д) магнитным сепаратором для отделения стружки черных металлов;

е) ларями для хранения стружки по маркам сплавов и по сортам.

Из существующих способов использования стружки при плавке цветных сплавов наибольшее практическое применение получили:

а) переплавка стружки в брикетированном виде, в первую очередь медных сплавов, с погружением брикетов в расплавленную ванну;

б) переплавка стружки (отсортированной, дробленой, предварительно подсергнутой сепарации) россыпью путем погружения ее небольшими порциями в расплавленную ванну с применением соответствующих флюсов;

в) загрузка брикетов или отсортированной дробленой стружки на подину печи равномерными слоями с прикрывающим слоем тяжелых отходов.

Применение стружки в виде брикетов более удобно и экономично вследствие компактности брикетов, уменьшения потерь металла при хранении, плавке и транспортировке.

Производительность плавильных агрегатов при плавке медных сплавов в виде брикетов повышается в среднем на 10—12%, а угар соответственно уменьшается в сравнении с плавкой стружки россыпью. Брикетирование стружки цветных металлов и сплавов может осуществляться на прессах любого типа.

Стружка, литники, выпоры и другие отходы рекомендуются к использованию в виде переплавов соответствующего химического состава. На ларях и ящиках для хранения различных металлов должны быть четкие подписи с указанием названия материала, например, стружка ЛК80-ЗЛ, переплав ЛК80-ЗЛ, лигатура медь — кремний и т. п.

Лари и ящики с лигатурой должны быть снабжены паспортами с указанием номера плавки и химического состава лигатуры. Съемы (шлаки, изгарь) хранятся отдельно. Их использование в шихте не допускается.

Чистые сплески (металл, пролитый при разливе на пол) собираются отдельно и используются, как возврат после химического анализа. Разделка негабаритного лома (прибыли, крупные отливки) производится любым доступным цеху способом (под копром, электрорезкой, переплавкой, во взрывных ямах).

Стружка цветных сплавов собирается у всех металлообрабатывающих станков при помощи выдвижных поддонов, ящиков, ограждений штыков, кожухов и других приспособлений. У каждого рабочего места должны быть уложены решетчатые настилы, устраняющие возможность втапывания стружки в пол.

Стружка собирается раздельно:

по видам — сыпучая, витая и ленточная,

по качеству — чистая, засоренная (землей, наждачной пылью).

стружки черных металлов), смешанная (засоренная стружка других цветных сплавов). Стружка, собранная отдельно по маркам сплавов, виду и качеству, подается в закрытых ящиках из механических цехов на участок подготовки стружки.

Поле подготовительных операций (отделения масла, дробления и др.), стружка хранится в сухом помещении в специальных закрытых ларях с соответствующими надписями.

Стружка, смешанная из разных цветных сплавов (негарантированного химического состава), хранится в отдельных ларях и предназначена для приготовления переплава. Стружка, собранная по маркам, перед использованием в шихте подвергается очистке на подготовительном участке. В зависимости от засоренности стружки и ее назначения применяются следующие подготовительные операции:

а) стружка, содержащая свыше 2% масла и влаги, предварительно очищается центрифугированием с целью использования масла;

б) витая и ленточная стружка дробится в дробилках соответствующей производительности;

в) стружка, очищенная центрифугированием, подвергается сушке в сушилах барабанного типа при температуре 300—400 °С до полного удаления влаги и жиров;

г) стружка, засоренная землей, очищается грохочением на ручном или механическом грохоте с ситами с размерами отверстий: 5 мм и 2 × 2 мм;

д) стружка, засоренная черными металлами, очищается магнитным сепарированием.

§ 3. ПРИГОТОВЛЕНИЕ ПЕРЕПЛАВОВ ИЗ ОБОРОТНЫХ ОТХОДОВ И СТРУЖКИ РОССЫПЬЮ

Приготовление переплава из стружки кремниевых латуней марок ЛК80-3Л, ЛК80-3 и ЛКСЖ-3-3. Для приготовления переплава стружки кремниевых латуней применяются: тигельные горны, электрические дуговые и индукционные печи и поворотные печи «Мечта».

Состав шихты: 30% оборотных отходов и 70% стружки.

Состав флюса: 95% кальцинированной соды и 5% плавикового шпата.

Расход — 3% от веса стружки.

Перед загрузкой печь (тигель) очищают от остатков металла и шихты и нагревают до температуры 600—700 °С (вишневокрасного цвета). Затем загружают все оборотные отходы сортированными по маркам, равномерно распределяя их в печи. Расплавление металла заканчивают при температуре 1100—1120 °С. Затем добавляют стружку с флюсом и тщательно перемешивают до полного расплавления стружки. Далее

сплав вновь нагревают до температуры 1100—1120° С и загружают следующую порцию стружки с флюсом (не превышая 25% всей навески стружки). Загрузку производят до расплавления всей назначенной к завалке стружки. После расплавления всей стружки, перемешивания и удаления шлака, берут технологическую пробу на усадку (отливка в песчаную форму цилиндров диаметром 40 — 50 мм и высотой 100 мм). При получении удовлетворительной технологической пробы сплав разливают в чушки. После выбивки из изложниц их клеймят, взвешивают и подвергают химическому анализу.

Результаты химического анализа фиксируют в плавильном журнале.

Приготовление переплава из стружки латуней марок ЛМцЖ55-31, ЛМц58-2, ЛЖМц59-1-1, ЛС59-1 Л62, ЛН56-3, и ЛО62-1. Для приготовления марганцевых латуней и латуней марок ЛС59-1, Л62, ЛН56-3 и ЛО62-1 применяют тигельные горны, электрические дуговые и индукционные печи и печи типа «Мечта».

Для приготовления переплава стружки россыпью латуней наиболее пригодна низкочастотная индукционная печь ВИП.

Состав шихты: 20% оборотных отходов и 80% стружки.

Состав флюса: 90% древесного угля и 10% буры.

Расход — 2% от веса стружки.

Древесный уголь и буру предварительно прокалывают при температуре 400—450° С в течение 2 часов.

Спекшиеся куски прокаленной буры измелечают и просеивают через сито с отверстиями 2 — 2 мм.

Стружку перед загрузкой в печь смешивают с приготовленным флюсом.

Все оборотные отходы, входящие в состав шихты, загружают в разогретую до температуры 600—700° С печь, расплавляют и температуру сплава доводят до 1040—1060° С.

Затем загружают порцию смеси стружки с флюсом в количестве 10% от веса всей стружки, входящей в состав шихты. Стружка расплавляется и сплав подогревают до температуры 1040—1060° С. После расплавления первой порции стружки загружают следующую порцию в один прием.

Вес стружки постепенно увеличивается, но не превышает 20% всей навески. После расплавления всей шихты сплав нагревают до температуры 1040—1060° С, поддерживая в печи восстановительную атмосферу. Затем берут пробу для химического анализа, снимают шлак и сплав сливают в ковш для разливки переплава в чушки.

При переплаве стружки в печах ВИП шихта состоит из одной стружки. Для ускорения расплавления верхней части кольца металл открытую часть кольца засыпают древесным углем и разжигают дутьем от магистрали сжатого воздуха. Древесный уголь по-

сыпают по мере его сгорания, не допуская перегрева металла в кольце во избежание выброса металла и размыкания кольца. После полного расплавления металла счищают шлак. Затем загружают прокаленную буру в количестве 0,7% от веса стружки и печь переключают на режим плавки.

Стружку загружают отдельными порциями (1—2 лопаты), которые замешивают в флюсе и металле. Каждую новую порцию стружки вводят после расплавления предыдущей и температуру металла ванны доводят до 980—1000 С.

После расплавления всей шихты печь переключают на режим подогрева, снимают шлак и берут пробу для химического анализа.

Затем выключают печь и металл выпускают в предварительно подогретый ковш.

Приготовление переплава из стружки оловянных бронз марок ОЦНЗ-7-5-1, ОЦС6-6-3, ОЦ10-2, ОЦС8-4-3 и ОФ10-1. Для переплава стружки оловянных бронз применяют тигельные горны, электрические дуговые и индукционные печи.

При переплаве стружки оловянных бронз применяют флюс, состоящий из 20% кальцинированной соды, 40% мелкого кварцевого песка и 40% плавикового шпата.

Температура плавления флюса 880—900° С. Расход его — 5% от веса всей стружки. При плавке флюс находится на поверхности металла в жидком состоянии и хорошо отделяется от расплавленного металла.

Стружку загружают частями — отдельными порциями. Последующие порции загружают по мере расплавления предыдущих и нагрева жидкого металла до температуры 1180—1200° С. Каждую новую порцию стружки тщательно перемешивают в жидком сплаве до полного ее расплавления.

Расплавление стружки ведется с максимальной интенсивностью.

После полного расплавления всей стружки ванну тщательно перемешивают и удаляют шлак.

Металл подогревают до температуры 1180—1200° С и сливают в предварительно подогретый ковш для последующей разливки по изложницам.

Полученные чушки переплава маркируют номером плавки и взвешивают.

§ 4. РАСЧЕТ ШИХТЫ СПЛАВОВ ТЯЖЕЛЫХ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Расчет шихты заключается в определении весовых соотношений различных исходных шихтовых материалов, загружаемых в печь, для приготовления сплава заданного химического состава.

Расчет шихты ведется на 100 кг сплава по среднему химическому составу с учетом содержания количества основных компонентов

на величину угара, т. е. безвозвратных потерь металла на испарение, образование окислов, переходящих в шлак, взаимодействие с футеровкой печи.

Величина этих потерь зависит от вида шихты (компактности), типа плавильной печи, режима плавки и т. п. Ниже приводятся примеры расчета шихты разных сплавов.

Расчет шихты оловянной бронзы марки Бр.ОЦ8-4 из чистых металлов и отходов собственного производства. Расчет ведем на 100 кг бронзы. Шихта составляется из 20% отходов собственного производства и 80% чистых металлов.

Расчетное содержание компонентов в сплаве (кг):

Олова	$100 \cdot 0,08 = 8$
Цинка	$100 \cdot 0,04 = 4$
Меди	$100 \cdot 0,88 = 88$
Всего:	100

Средний угар принимаем: олова — 2%, цинка — 8% и меди — 1%.

С учетом угара, содержание компонентов в шихте составит (кг):

Олова	$8 + (8 \cdot 0,02) = 8,16$
Цинка	$4 + (4 \cdot 0,08) = 4,32$
Меди	$88 + (88 \cdot 0,01) = 88,88$
Всего	101,36

Количество отходов собственного производства принимаем 20% или 20 кг на 100 кг бронзы ($100 \cdot 0,2 = 20$ кг).

Содержание в отходах (кг):

Олова	$8 \cdot 0,2 = 1,6$
Цинка	$4 \cdot 0,2 = 0,8$
Меди	$88 \cdot 0,2 = 17,6$
Всего	20

Количество свежих металлов, необходимых для добавления в шихту (кг):

Олова	$8,16 - 1,6 = 6,5$
Цинка	$4,32 - 0,8 = 3,52$
Меди	$88,88 - 17,6 = 71,28$

Таким образом, для получения 100 кг бронзы Бр. ОЦ8-4 требуется (кг)

Отходы собственного производства	20
Оло	6,5
Цинк	3,52
Медь	71,28
Всего	101,30

Расчет шихты бронзы Бр. АМц9-2 из чистых металлов, отходов собственного производства и лигатур.

Расчетное содержание компонентов в сплаве (кг):

Алюминия	$100 \times 0,09 = 9$
Марганца	$100 \times 0,02 = 2$
Меди	$100 \times 0,89 = 89$
Всего:	100

Средний угар принимаем: алюминия — 2%, марганца — 2,5% и меди — 1%.

С учетом угара содержание компонентов в шихте составит (кг):

Алюминия	$9 + (9 \times 0,02) = 9,18$
Марганца	$2 + (2 \times 0,025) = 2,05$
Меди	$89 + (89 \times 0,01) = 89,89$
Всего:	101,12

Количество отходов собственного производства в шихте принимаем 20 кг или 20 кг на 100 кг бронзы ($100 \times 0,2 = 20$ кг).

Содержание алюминия, марганца и меди в отходах (кг):

Алюминия	$9 \times 0,2 = 1,8$
Марганца	$2 \times 0,2 = 0,4$
Меди	$89 \times 0,2 = 17,8$
Всего:	20

Содержание компонентов (кг) в лигатуре Cu — Al (50 : 50):

Алюминия	$9,18 - 1,8 = 7,38$
Меди	$\frac{7,38 \times 50}{50} = 7,38$
Всего:	14,76

в лигатуре Си — Мп (70 : 30):

Марганца	$2,05 - 0,4 = 1,65$
Меди	$\frac{1,65 \cdot 70}{91} = 1,24$
Всего	2,89

Всего в лигатурах и отходах (кг):

Алюминия	$1,8 + 7,38 = 9,18$
Марганца	$0,4 + 1,65 = 2,05$
Меди	$17,8 + 2,89 = 20,69$
Всего	40,29

Количество свежих металлов, необходимых для добавления в шихту (кг):

Алюминия	$9,18 - 9,18 = 0$
Марганца	$2,05 - 2,05 = 0$
Меди	$20,81 - 20,00 = 0,81$

Таким образом, для получения 100 кг бронзы Бр АМц9-2 требуется (кг):

Отходов собственного производства	20
Лигатуры Си — Мп	14,76
Лигатуры Си — Мп — Мг	5,75
Меди	60,81
Всего	101,32

Расчет шихты оловянной бронзы марки Бр. ОЦС5-5-5 из чистых металлов и отходов собственного производства.

Состав шихты: 60% свежих металлов и 40% возврата собственного производства.

Угар элементов принимаем: олова и меди — 1%, цинка и свинца — 2%.

С учетом угара этих элементов количество шихтовых материалов увеличивается (кг):

Меди	$85,001 = 85,00$
Олова	$7,501 = 7,50$
Цинка	$5,002 = 5,00$
Свинца	$5,002 = 5,00$

Полученные по расчету данные могут быть представлены в следующем виде:

	Олово	Цинк	Свинец	Медь	Всего
Средний химический состав сплава, %	5	5	5	85	100
Вес на 100 кг шихты, кг	5	5	5	85	100
Угар, %	1	2	2	1	—
То же, кг	0,05	0,10	0,10	0,85	1,1
Расчетный вес шихты, кг	5,05	5,10	5,10	85,85	101,1
Содержание в цеховых отходах (40 %), кг	2,00	2,00	4,0	34,0	40,0
Содержание в свежих материалах (60 %), кг	3,05	3,10	3,10	51,85	61,1

Для выплавки 1 т бронзы марки Бр. ОЦС5-5-5 потребуется материалов (кг):

Олова	30,5
Цинка	31,0
Свинца	31,0
Меди	518,5
Отходов Бр.ОЦС5-5-5	400,0

Всего: 1011,0

Шихта, содержащая значительный процент свежих материалов, обычно предназначается для выплавки сплава, к которому предъявляются высокие требования в отношении точности химического состава и механических свойств. Для менее ответственных отливок в качестве шихтового материала применяется вторичная бронза марки Бр.ОЦС5-6-5.

§ 5. ПРИГОТОВЛЕНИЕ ФЛЮСОВ И ЛИГАТУР

Приготовление флюсов

В производстве цветных металлов и сплавов применяются различные флюсы для защиты металлического расплава от воздействия печной атмосферы, удаления из расплава окислов, сульфидов и других металлических окислов и вредных примесей.

По своему назначению флюсы подразделяются на *защитные* или *покровные*, *рафинирующие (очистные)* и *модифицирующие* (при плавке легких сплавов). По химическому составу они подразделяются на *кислые*, *нейтральные* и *основные*.

Защитные или *покровные* флюсы, образуя на поверхности расплава защитный слой, изолируют металл от воздействия печной атмосферы и уменьшают потери на угар.

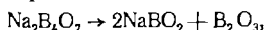
При плавке цветных сплавов наибольшее применение получил прокаливающий древесный уголь (ГОСТ 4635—49), интенсивно адсорби-

рующий влагу и выполняющий роль раскислителя. При плавке высокоцинковых медных сплавов древесный уголь затрудняет процесс испарения и окисления цинка. При плавке оловянных бронз и простых латуней, в качестве защитного флюса применяется поваренная соль (ГОСТ 4233—48) в количестве 0,4—0,5% от веса сплава, а при плавке марганцевых и железомарганцевых латуней — смесь древесного угля с бурой или апатитовой рудой в количестве 2,5—3% от веса сплава.

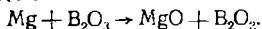
Для медноалюминиевых и медноникелевых сплавов используется смесь стекольного боя с кальцинированной содой в весовом отношении 1 : 1, при изготовлении кремнистых бронз и латуней — стекольный бой с древесным углем или смесь, состоящая из 63% буры и 37% стекольного боя.

При плавке медных сплавов с легкоокисляющимися компонентами применяется борная присадка М. П. Славинского, представляющая собой сплавленную смесь из прокаленной буры (95% $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) и 5% Mg. Обезвоженная бура или борная кислота сплавляется с измельченной в порошок магниевой стружкой в графитовом тигле при температуре 1000—1050°С в течение 5—10 мин без доступа воздуха. Толщина слоя при приготовлении сплавов должна быть не менее 20 мм.

Под действием высокой температуры бура распадается с выделением трехоксида бора:



а находящийся в присадке магний восстанавливает трехокись бора до B_2O_3 по реакции:



Поглощаемый флюсом из печной атмосферы кислород расходуется на образование ангидрида бора и тем самым предотвращает окисление металлического расплава.

Во избежание полного окисления B_2O_3 и B_2O_2 и насыщения ванны кислородом периодически снимается отработанный флюс и наводится новый.

Для защиты от окисления никелевого расплава, содержащего медь, марганец, молибден, железо и др. компоненты, применяется рекомендованный В. Я. Мостовичем покровный флюс состава: $\text{CaCO}_3 = 42\%$, $\text{SiO}_2 = 25\%$ и $\text{CaF}_2 = 33\%$.

Эта смесь соответствует составу $\text{CaSiO}_3 \cdot \text{CaF}_2$ с температурой плавления около 1150°С.

Приготовление и переплавка баббитов производится с применением в качестве покровного флюса древесного угля и иногда с добавкой смеси, состоящей из 50% NaNO_2 и 50% KNO_3 , в количестве 0,5—1% от веса баббита.

Рафинирующие (очистные) флюсы применяются с целью очистки металлического расплава от загрязнений.

посторонних элементов, окислов, растворенных газов и вредных примесей (в медных сплавах: Al, Fe, Si, Sb и S).

В состав рафинирующих флюсов входят химически активные вещества, переводящие вредную примесь в химические соединения, нерастворимые в жидком металле, и вещества, ошлаковывающие эти соединения.

При очистке медных сплавов от вредных примесей применяются флюсы, химически активной составляющей которых являются: окись меди, окись свинца, окись цинка, хлористая медь, перекись бария или натрия, сернистый барий, сернистый калий, двуокись марганца и др. В качестве веществ, ошлаковывающих окисные или хлористые соединения вредных примесей, применяются бура, смесь буры со стеклом, плавиковый шпат, кальцинированная сода и др.

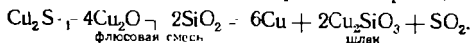
Окись меди применяется для очистки оловянных бронз и латуней от алюминия, а в смеси с поваренной солью (в соотношении 1 : 1) — от кремния. Она расходуется в количестве примерно 4% на 1% алюминия в сплаве.

Удаление железа из бронз достигается обработкой расплавленного металла флюсом, состоящим из медной окалины и кварцевого песка. При продолжительном нагреве ванны выше 1250 °C происходит ошлакование железа по реакции:



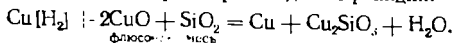
Восстановление меди из загрязненного серой расплавленного металла достигается флюсом, состоящим из смеси руды куприта с кварцевым песком в весовом отношении 4 : 1.

При небольшом перегреве ванны происходит реакция:

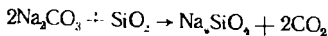


Для дегазации медного расплава от адсорбированного в процессе плавки водорода применяется флюс, состоящий из медной окалины и кварцевого песка.

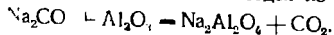
Процесс удаления водорода происходит по реакции:



Очистка бронз и латуней от включений SiO_2 («силикатной му-»
г») производится содой по реакции:



от включений окиси алюминия также содой по реакции:



Подобные реакции протекают и при рафинировании меди, содержащими CaF_2 (пирролизит) и Na_3AlF_6 (криолит).

Пирролизит хорошо растворяет окислы металлов и разжижает флюсы.

Окись свинца для очистки оловянных бронз и латуней от алюминия применяется относительно редко, так как вызывает значительные потери олова и цинка при одновременном обогащении сплава свинцом.

Окись цинка является наиболее эффективным очистителем оловянных бронз и латуней от алюминия. Окись цинка вводится в расплав чаще в смеси с бурой (1 : 1), обеспечивая окисление алюминия, без потерь основных компонентов сплава — меди, олова, свинца и цинка.

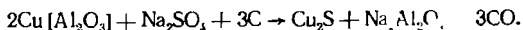
Расход окиси цинка определяется из расчета примерно 6% на 1% алюминия от веса металла.

В смеси с поваренной солью (в соотношении 1 : 1) окись цинка способствует очищению сплава и от кремния, но менее энергично, чем одна окись цинка.

Хлористая медь в смеси с поваренной солью (в соотношении 1:1) применяется для очистки меди и медных сплавов от алюминия и железа, но при этом происходит выделение хлора, что следует учитывать при работе с этим флюсом.

Сернистый барий и сернистый калий применяются для очистки медных сплавов от алюминия и железа. Они вводятся в расплавленный металл в смеси с кальцинированной содой, с целью избежания загрязнения его серой.

С этой же целью применяется сернистый натрий или калий в присутствии угля. Тогда при нагреве материалов до 1200 °С происходит реакция:



Расход флюса определяется из расчета примерно 7—9% сернистого бария или сернистого калия на 1% алюминия от веса сплава.

Окись меди, сернистый барий, сернистый калий и хлористая медь хорошо очищают медные сплавы от вредных примесей, но вызывают потери олова и цинка.

Перекись натрия или бария в смеси с кальцинированной содой (в соотношении 1 : 1) применяются для очистки отходов медных сплавов от механических загрязнений алюминием и сурьмой. Флюс этот перемешивается с отходами до загрузки их в печь.

Окисление алюминия и сурьмы происходит до расплавления отходов.

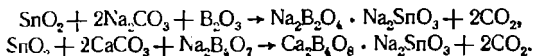
Кальцинированная сода является весьма эффективным средством для очистки медных сплавов от серы.

Восстановление двуокиси олова в бронзах — трудный и длительный процесс, поэтому очень часто SnO_2 удаляется из сплава шлакованием.

Шлакование ведется основными флюсами — кальцинированной содой или известняком, образующими с SnO_2 станнаты.

Для разжижения трудноплавких станнатов к флюсам добавляются плавни: борный ангидрид или бора.

При шлаковании SnO_2 происходят следующие реакции:



Флюс $2\text{CaCO}_3 + \text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ представляет собой смесь из 50% CaCO_3 и 50% $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$.

В качестве рафинирующих флюсов применяются смеси, приведенные в табл. 18.

Т а б л и ц а 18

Рафинирующие флюсы (вес, %) для алюминиевых бронз и латуней

Na_2AlF_6	CaF_2	NaF	NaCl	Na_2CO_3	KCl	Na_2SO_4	Остаток
40	—	—	60	—	—	—	—
20	20	60	—	—	—	—	—
15	—	—	10	—	35	—	28% буры + 2% угля
20	20	30	—	10	—	20	—
—	70	—	—	10	—	20	—
12	—	—	—	70	—	—	12% K_2CO_3 + 6% буры

В табл. 19 приводятся справочные данные о химическом составе, удельном весе и температуре плавления составляющих флюсов, применяемых при плавке цветных металлов и сплавов.

В табл. 20 указан состав некоторых солей и смесей.

Приготовление лигатур

Плавка и разливка лигатуры медь — кремний ($\text{Cu} - \text{Si}$). Для приготовления лигатуры $\text{Cu} - \text{Si}$ пользуются индукционными печами и тигельными горнами.

Приготовление лигатуры $\text{Cu} - \text{Si}$ в дуговых электропечах или в печах типа «Мечта» не рекомендуется, так как кремний, вследствие малого удельного веса, всплывает на поверхность ванны, и угар его в этих печах весьма значителен.

В качестве шихтовых материалов применяются:

- медь марок: М0, М1, М2 и М3 (ГОСТ 859—41), а также вторичная медь соответствующего химического состава;
- кремний кристаллический (ГОСТ 2169—43);
- медь фосфористая всех марок (ГОСТ 4515—48);
- фторосилиций марок Сп 90 и Сп 75 (ГОСТ 1415—61).

Химический состав, удельный вес и температура плавления
составляющих флюсов, применяемых при плавке
цветных металлов и сплавов

С о л ь	Химический состав	Удельный вес <i>Г/см³ (кг/л)</i>		Температу- ра плавле- ния, °С
		в твердом состоянии	в жидком состоянии	
Хлористый алюминий	$AlCl_3$	2,44 (23,9)	1,34 (13,0)	190
Фтористый алюминий	AlF_3	3,10 (30,4)	—	—
Хлористый аммоний	NH_4Cl	1,53 (16,0)	—	—
Хлористый барий	$BaCl_2$	3,87 (38,9)	—	955
Фтористый барий	BaF_2	4,83 (47,3)	—	1280
Бура	$Na_2B_4O_7$	2,37 (23,2)	—	741
Хлористый кальций	$CaCl_2$	2,15 (21,1)	2,06 (20,2)	744
Фтористый кальций	CaF_2	3,18 (31,5)	—	1378
Карналлит	$MgCl_2 \cdot KCl$	—	1,5 (14,7)	487
Криолит	Na_3AlF_6	2,95 (28,8)	2,09 (20,5)	995
Хлористый литий	$LiCl$	2,07 (20,3)	1,50 (14,7)	603
Фтористый литий	LiF	2,60 (28,5)	1,80 (17,1)	801
Хлористый магний	$MgCl$	2,18 (20,4)	—	715
Фтористый магний	MgF_2	2,47 (24,2)	—	1396
Хлористый марганец	$MnCl_2$	2,98 (29,2)	—	650
Хлористый никель	$NiCl_2$	2,56 (25,1)	—	—
Хлористый калий	KCl	1,92 (19,5)	1,53 (15,0)	771
Хромоеокислый калий	K_2CrO_4	2,73 (26,8)	—	971
Двуххромовокислый калий	$K_2Cr_2O_7$	2,60 (26,4)	—	366
Фтористый калий	KF	2,48 (24,4)	1,91 (18,7)	860
Азотнокислый калий	KNO_3	2,11 (20,7)	—	337
Хлористый натрий	$NaCl$	2,17 (21,3)	1,55 (15,0)	805
Фтористый натрий	NaF	2,77 (25,1)	1,95 (19,1)	992
Азотнокислый натрий	$NaNO_3$	2,27 (22,2)	—	346
Кремнефтористый натрий	Na_2SiF_6	2,76 (27,0)	—	—
Хлористый цинк	$ZnCl_2$	2,91 (28,5)	—	365
Фтористый цинк	ZnF_2	4,61 (45,2)	—	734

Состав (вес. %) некоторых солей и смесей, входящих в состав флюсов при плавке цветных металлов и сплавов

NaCl	KCl	CaCl ₂	BaCl ₂	NaF	CaF ₂	Смеси солей
50	50	—	—	—	—	—
50	50	—	—	—	—	—
25	—	25	—	—	—	—
25	—	75	—	—	—	—
30	—	—	70	—	—	—
25	5	70	—	—	—	—
20	50	30	—	—	—	—
30	—	30	34	—	—	—
—	60	40	—	—	—	—
—	—	51	49	—	—	—
—	44	—	—	—	—	56% MgCl ₂ 66% LiCl
4	—	—	—	—	10	—
30	—	—	—	—	25	—
75	—	—	—	—	—	—
75	—	—	—	27	—	—
60	—	—	—	30	10	—
10	—	—	—	—	15	—
—	—	—	52	—	—	12% BaF ₂
—	—	51	—	—	15	—
—	—	—	—	—	39	61% AlF ₃
—	—	—	—	—	—	64% AlF ₃
—	—	—	—	—	47	—
—	—	—	—	—	—	52% KF
—	—	—	—	—	—	37% NaAlF ₄
—	—	—	—	—	—	63% BaF ₂
—	—	—	—	—	—	59% NaAlF ₄
—	—	—	—	—	—	23% CaF ₂
—	—	—	—	—	—	18% Al ₂ O ₃

Ферросилиций марки Сп 75 применяется при условии содержания железа в выплавляемых сплавах в пределах норм, установленных соответствующими требованиями технических условий.

Все шихтовые материалы перед загрузкой в печь подогреваются до 100—150 °С.

При плавке лигатуры в тигельных горнах применяются только прокаленные, хорошо очищенные от остатков предыдущей плавки тигли.

При плавке в индукционных печах, если металл предыдущей плавки содержит элементы, вредные для сплавов марок ЛК80—ЗЛ, ЛК80—ЗЗ, КМцЗ-1 и др., перед приготовлением лигатуры проводится промежуточная плавка меди.

Расчет количества производится в соответствии с данными, приведенными в табл. 20.

Состав шихты, %

Медь	Кремний кремний	Ферросилиций марки СФ-5	Фосфористая медь
68	32	—	—
65	—	35	—
70	—	—	40

Плавка лигатуры в тигельных печах. Перед началом плавки горны тщательно осматривают и очищают. Тигли высушивают, прокалывают и нагревают до температуры 600—700 °С (вишнево-красного каления футеровки). На дно тигля насыпают 1—2 лопаты древесного угля и на него загружают всю медь. В случае если вся медь не помещается в тигле, догружают оставшуюся часть по мере оседания предыдущей и покрывают сверху проваленным древесным углем. Плавка ведется форсированно. Всю загруженную медь нагревают до температуры 1200—1250 °С, раскисляют фосфористой медью и снимают шлак. В раскисленную медь отдельными порциями вводят предварительно подогретый кремний или ферросилиций, причем после погружения каждой порции кремния или ферросилиция металл тщательно перемешивают мешалкой.

После полного растворения кремния или ферросилиция продолжают нагрев сплава в течение 5—10 мин, после чего его снова перемешивают, снимают шлак и разливают по изложницам.

Плавка лигатуры в индукционных печах. Перед началом загрузки печь тщательно очищают от остатков металла и шлака и осматривают футеровку для проверки готовности печи к плавке. Загружают в печь всю медь, предназначенную для плавки. В раскисленную медь отдельными порциями вводят предварительно подогретый кремний или ферросилиций, причем после погружения каждой порции кремния или ферросилиция металл тщательно перемешивают мешалкой. При перемешивании печь выключают.

После полного растворения кремния или ферросилиция продолжают нагрев сплава в течение 5—10 мин, после чего снова перемешивают, снимают шлак и разливают, как указано выше.

Плавка и разливка лигатуры медь — марганец (Cu — Mn). Приготовление лигатуры медь — марганец рекомендуется вести в индукционных, тигельных и электровакуумных печах.

В качестве шихтовых материалов могут применяться:

а) медь марок: М0, М1, М2 (ГОСТ 859-41) и также вторичная медь соответствующего химического состава;

б) медь фосфористая всех марок (ГОСТ 4516-48);

в) марганец металлический марок: Мр1, Мр2, Мр3 (ГОСТ 4755—49);

г) марганец марок: Мн0, Мн1, Мн2 (ГОСТ 4755—49).

Марганец и ферромарганец перед загрузкой в печь измельчают до размеров кусков 30—60 мм в погребеннике. Не допускается применять в шихте материалы, загрязненные маслом, нефтью, землей, а также влажные или покрытые снегом и льдом. Все шихтовые материалы перед загрузкой в печь рекомендуется нагреть до температуры 100—150 °С.

Плавка в тигельных горнах. Тигли перед плавкой очищают от остатков металла и шлака, тщательно просушивают, прокаливают и нагревают до температуры 600—700 °С. Если металл предыдущей плавки содержал элементы, вредные для марганцовистых латуней, алюминиевых бронз и кремнистой бронзы (например, сурьма в сурьмяноникелевой бронзе, олово в оловянных бронзах), то предварительно проводят промывную плавку меди. Затем загружают медь и покрывают сверху прокаленным древесным углем.

Плавка ведется форсированно.

После расплавления меди ее нагревают до температуры 1200—1250 °С, раскисляют фосфористой медью в количестве 0,3—1,0% от веса меди и снимают шлак. Затем вводят предварительно нагретый марганец или ферромарганец и ванну тщательно перемешивают.

После полного растворения марганца или ферромарганца, ванну вновь перемешивают и продолжают нагрев металла в течение 5—10 мин. Затем снимают шлак, и металл выдается на разливку. Ковш перед разливкой лигатуры нагревают до температуры 600—700 °С (вишнево-красного каления футеровки). Разливку производят в специальных плоских изложницах с большим числом пережимов, так как марганцовистая лигатура очень вязкая и с трудом дробится. Изложницы, предварительно подогретые до 200 °С, смазывают тонким слоем мазута.

Плавка в индукционных печах. Перед началом заправки печь тщательно очищают от остатков металла и шлака и проверяют готовность ее к плавке. Загружают всю медь. Сверху ее покрывают 1—2 лопатами прокаленного древесного угля. Процесс расплавления ведется максимально форсированно.

В раскисленную медь отдельными порциями добавляют предварительно нагретый марганец или ферромарганец и ванну тщательно перемешивают после введения каждой порции. При перемешивании печь выключают.

После полного растворения всего марганца или ферромарганца сплав вновь перемешивают, подогревают в течение 5—10 мин, снимают шлак и выдают на разливку.

Плавка и разливка лигатуры медь — железо (Cu — Fe). Приготовление лигатуры медь — железо ведется в плавильных печах любого типа.

В качестве шихтовых материалов применяются:

- а) медь марок М0, М1 и М2 (ГОСТ 859—41);
- б) медь фосфористая всех марок (ГОСТ 4515—48);
- в) обрезки чистого мягкого железа.

Все шихтовые материалы перед загрузкой в печь нагревают до температуры 100—150°C. При плавке лигатуры в тигельных горнах применяют тигли, очищенные от остатков предыдущей плавки.

Если металл предыдущей плавки содержал элементы, вредные для марганцовожелезистых латуней и алюминиевых бронз (например, сурьма в сурьмяноникелевой бронзе и олово в оловянных бронзах), то для приготовления лигатуры при плавке в печах «Мечта» следует сменить барабан, а при плавке в индукционных печах — провести промывную плавку меди. Лигатура шихтуется на содержание в ней 10% железа.

Плавка в тигельных печах. Перед началом плавки тигли тщательно очищают, прокаливают и нагревают до температуры 600—700°C. На дно тигля насыпают 1—2 лопаты прокаленного древесного угля, затем загружают медь и покрывают слоем прокаленного древесного угля. Плавка ведется максимально форсированно. После расплавления всей меди ее нагревают до температуры 1250°C, раскисляют фосфористой медью и снимают с поверхности шлак.

В раскисленную медь отдельными порциями вводят железо и тщательно перемешивают металл после загрузки каждой порции. Загрузку каждой последующей порции производят после полного растворения предыдущей. Затем ванну перемешивают и продолжают нагрев сплава в течение 5—10 мин, снимают шлак и производят разливку в плоских изложницах с большим числом пережимов, так как лигатура очень вязкая и с трудом дробится.

Изложницы перед разливкой и смазкой их мазутом нагревают до температуры около 200°C. Применение лигатуры допускается только после получения ее химического анализа.

Плавка в индукционных печах. Перед загрузкой печь тщательно очищают от остатков металла и шлака и загружают всю медь.

Для ускорения расплавления насыпают 1—2 лопаты прокаленного древесного угля.

Плавку ведут на максимальную мощность печи. После полного расплавления меди ее нагревают до температуры 1250°C и затем раскисляют фосфористой медью в количестве 0,3—1,0% от веса меди. В раскисленную медь отдельными порциями вводят чистое железо и ванну тщательно перемешивают.

Перед каждым перемешиванием печь выключают.

Плавка в электродуговых печах и печах типа «Мечта». Перед загрузкой печь тщательно очищают от остатков металла и шлака и нагревают до температуры 600—700°C (вишнево-красного каления футеровки). Загружают всю медь.

Расплавление ведется максимально форсированно. Плавку ведут при нейтральной или слабоокислительной атмосфере.

После расплавления около 2/3 загруженного в печь металла производят покачивание печи для ускорения плавки и уменьшения износа футеровки.

После расплавления и нагрева меди до температуры 1250 С, раскисления ее фосфористой медью в количестве 0,3—1,0% от веса меди вводят отдельными порциями чистое железо и тщательно перемешивают ванну. После полного расплавления железа продолжают нагрев в течение 5—10 мин, после чего снимают шлак и металл выдают на разливку.

Плавка и разливка лигатуры медь—алюминий (Cu—Al). Приготовление лигатуры медь—алюминий рекомендуется вести в индукционных и дуговых электропечах, а также в нефтяных, газовых и котельных печах и горнах, в графитовых тиглях.

Загружают и расплавляют медь под слоем просушенного угля или покровного флюса (битое стекло), перегревают до температуры ~1150 С и раскисляют фосфористой медью или магнием (из расчета: 0,5—1 г раскислителя на 15 кг меди).

Магний вводят в металл при помощи железного или графитового перфоратора. После тщательного перемешивания вводят алюминий в 2—3 приема, предварительно подогретый до температуры 300—400 С, следя за тем, чтобы не произошло падения температуры сплава (замораживания).

Допускается введение алюминия в жидком виде, предварительно расплавленного в другом тигле (печи).

После добавки алюминия сплав тщательно перемешивают, снимают шлак и снова перемешивают для получения однородного состава лигатуры. Допускается также предварительное расплавление алюминия с добавлением к нему мелко нарубленных и подогретых кусков меди при температуре ванны 800—850 С.

Разливку лигатуры производят после снятия шлака при температуре 750 С в горизонтальные изложницы, предварительно подогретые до 100—150 С. После остывания лигатуру выбивают из изложниц и берут пробу для химического анализа.

Так как лигатура очень хрупка, клеймение ее невозможно. Поэтому рекомендуется частичное закрашивание слитка или чушки черной несмывающейся краской.

Плавка и разливка лигатуры медь—никель (Cu—Ni). Приготовление лигатуры медь—никель рекомендуется вести в индукционных и дуговых электропечах, а также в нефтяных, газовых и коксовых печах и горнах, в графитовых тиглях.

Загружают и расплавляют медь под слоем просушенного угля или покровного флюса (битое стекло), перегревают до температуры 1150 С и раскисляют фосфористой медью или магнием (из расчета: 0,5—1 г раскислителя на 1,5 кг меди).

Магний вводят в металл при помощи жезлового или графитового перфоратора. После введения раскислителя медь подогревают до температуры 1250—1300 °С и небольшими порциями вводят половину навески никеля. Затем ванну тщательно перемешивают (следя за полнотой растворения каждой предыдущей порции металла) и вводят всю навеску алюминия. После перемешивания ванны загружается оставшаяся часть тугоплавкого металла также небольшими порциями, которые должны быть предварительно подогреты до температуры 100—150 °С.

После растворения никеля снимают шлак и при температуре 1200 °С лигатуру сливают в предварительно подогретые до 120—150 °С чугунные горизонтальные изложницы. После выбивки лигатуры из изложниц берут пробу для химического анализа. Вес чушки должен быть не более 15 кг с поперечной канавкой глубиной 20—30 мм. Медноникелевые лигатуры подразделяются по ГОСТ 1067—41 на четыре марки: МН15, МН18, МН25 и МН33 (табл. 22).

§ 6. ПЛАВКА И РАЗЛИВКА СПЛАВОВ ТЯЖЕЛЫХ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Плавкой сплавов называется процесс получения сплава в сложных физико-химических условиях взаимодействия компонентов, входящих в состав данного сплава, в результате происходящих в плавильных печах реакций под воздействием высоких температур.

Исходя из конкретных условий производства, устанавливается температурный режим и наиболее рациональная последовательность операций процесса плавки.

Сплав должен соответствовать требованиям ГОСТа или техническим условиям по содержанию в нем основных компонентов и допускаемых примесей, быть свободным от неметаллических включений (окислов, нитридов и др.) и газов и обладать заданными физико-механическими свойствами.

Выполнение этих требований зависит от следующих основных технологических факторов, влияющих на процесс плавки и качество сплава, а именно:

- а) состава шихты и ее подготовки;
- б) последовательности (порядка) загрузки и расплавления составных частей шихты;
- в) температурного режима нагрева шихты;
- г) конструкции и работы плавильной печи (взаимодействия расплавленного металла с печной атмосферой и футеровкой печи);
- д) методов обработки жидкого металла (рафинирования, дегазации, модифицирования);
- е) температурного режима разлива сплава.

При загрузке шихтовых материалов необходимо соблюдать определенную последовательность:

Химический состав медноникелевых сплавов
(ГОСТ 1067 — 41)

Марка	Химический состав, %										Ориентирова- ная темпера- тура плавлени- я, °С	Примерные назначения
	никель	свинец	медь	примеси не более						всего		
				цинк	олово	марганец	железо	алюминий	сурьма			
МН15	12,0 — 18,0	1,0	Оста- вшее	13,0	1,5	2,5	1,5	1,0	0,1	6,6	1050	Для подшивки при выплавке литейной ла- туны
МН18	14,0 — 20,0	4,0 — 7,0	»	3,0	1,5	0,5	1,0	0,3	0,1	3,4	1170	Для арматурноконструк- ционной оловянноцинко- вой бронзы
МН25	20,0 — 30,0	4,0 — 7,0	»	1,0	1,5	0,5	1,0	0,05	0,1	4,15	1200	Для бронзы марки Бр. СН60 — 2,5 по ГОСТ 493 — 54
МН33	29,0 — 37,0	0,1	»	0,1	0,1	1,0	1,0	3,0	0,002	2,22	1250	Для алюминий-железо- никелевых бронз марок Бр. АЖН 10-4-4 и Бр. АЖН 11-6-6 по ГОСТ 493 — 54

Примечания.

1. В сплавах марок МН15 и МН18 количество цинка в суммарной примеси не входит.
2. В сплавах марок МН33 количество алюминия в суммарной примеси не входит.

а) при ведении процесса плавки на свежих металлах и лигатурах сначала загружаются в печь и расплавляются свежие металлы, а затем добавляются лигатуры;

б) при ведении процесса плавки на предварительных или вторичных сплавах в чушках, свежих металлах и лигатурах сначала загружаются в печь и расплавляются вторичные чушковые сплавы, затем подшихтовываются свежими металлами и добавляются лигатуры;

в) при ведении процесса плавки с использованием отходов, лома и свежих металлов порядок загрузки определяется количеством составных частей шихты. В первую очередь загружается в печь и расплавляется наибольшая по весу часть шихты; сильно угорающие элементы (магний, цинк) вводятся в сплавы в последнюю очередь.

Для успешного приготовления сплавов необходимо, прежде всего, установить последовательность расплавления металлов, составляющих данный сплав. Как правило, вначале расплавляется основной металл, входящий в состав шихты в наибольшем количестве, затем в расплавленную ванну вводятся остальные компоненты.

Очередность введения этих компонентов определяется степенью окисляемости и упругостью их паров.

Небольшие количества компонентов, особенно когда они легко окисляются или испаряются, вводятся в сплав в виде промежуточных сплавов — лигатур, т. е. сплавов тугоплавких элементов с легкоплавкими.

Назначение последних — введение в сплав тугоплавких элементов без излишнего перегрева и длительной выдержки при высоких температурах.

Испарение металла начинается до перехода его в жидкое состояние.

С повышением температуры упругость паров металла соответственно увеличивается. В процессе плавки практически испаряются почти все металлы. Наиболее интенсивно испаряются металлы с наибольшей упругостью пара (например, цинк, свинец, сурьма и др.). Перегрев ванны отрицательно сказывается на качестве сплава, так как является причиной повышенных потерь на испарение, повышенной газонасыщенности, окисленности и пр.

Источниками газонасыщения металла являются: футеровка печи, плохо просушенные флюсы, древесный уголь, применяемый в качестве защитного слоя, шихта, загрязненная маслом, нефтью, остатками электролита, покрытая снегом и льдом, влажная атмосфера и др.

Растворимость газов в жидком металле (главным образом, водорода) резко возрастает с повышением температуры.

Обогащение жидкого металла окислами в процессе плавки в основном происходит в результате взаимодействия металла с газами печной атмосферы.

Источником загрязнения жидкого металла окислами является также шихта.

Окислы в жидком металле могут находиться в виде дисперсных включений (взвесей) или в виде плен.

В растворе могут находиться: закись меди и закись никеля в меди и никеле, в виде взвесей и плен, окислов алюминия в медных сплавах, содержащих алюминий и т. п.

Для получения жидкого металла незагрязненного окислами и растворенными в нем газами при ведении процесса плавки необходимо руководствоваться следующими основными положениями.

1. Шихта, загружаемая в предварительно нагретую печь, должна быть очищена от влаги, масла и остатков электролита (на медных и никелевых катодах).

2. Катоды рыхлые и загрязненные электролитом в шихту не допускаются.

3. Паспортная чушка с ликвационными выпотами в шихту не допускается.

4. Отходы, особенно стружка ржавая, масляная, влажная, в шихту не допускаются, так как влага, адсорбированная на их поверхности, служит источником насыщения металла газом.

5. Катоды в расплавленный металл погружать не следует, так как они, как правило, содержат водород и загрязнены остатками электролита.

При необходимости их следует загружать в начале плавки до появления жидкого металла, с целью удаления влаги и водорода.

6. Древесный уголь, применяемый в качестве защитного слоя, должен быть хорошо просушен и прокален.

7. Все флюсы должны быть предварительно хорошо просушены или переплавлены.

8. Плавку рекомендуется вести максимально форсированно при слабоокислительной атмосфере печи, не допуская коптящего пламени.

Выше уже упоминалось, что окислы в жидком металле могут находиться в виде твердых дисперсных включений (окислы алюминия, кремния, олова и др.) или в растворе (закись меди, закись никеля и др.).

Твердые окислы могут быть удалены из жидкого металла путем:
а) отстаивания перегретого расплавленного металла и последующего его нагрева до температуры заливки;

б) флотации, т. е. извлечения твердых включений из расплавленного металла пузырьками газа, пронизывающего толщу ванны, при одновременном удалении из металла растворенных в нем газов;

в) флюсования т. е. обработки расплава специальными флюсами (смесью солей), растворяющими окислы. В табл. 23 приводятся удельные веса и температуры плавления некоторых окислов.

Рафинирование (очистка) жидкого металла от растворенных в нем окислов производится восстановлением окислов раскислителями.

Реакции между окислами и различными элементами происходят с положительным или отрицательным тепловым эффектом. Чем больше родство элемента к кислороду, тем больше выделяется тепла при образовании окисла.

В общем виде процесс раскисления, как уже указывалось выше, можно представить в виде следующего уравнения:



где MO — окись металла;

R — раскислитель;

RO — окись раскислителя;

M — металл, восстановленный из окисла;

Q — теплота реакции.

Направление реакции определяется упругостью диссоциации участвующих в ней соединений.

Реакция пойдет слева направо, если упругость диссоциации MO будет больше упругости диссоциации RO. Чем выше упругость диссоциации, тем ниже теплота образования соединения.

Величина теплоты реакции Q равна разнице между теплотой образования окисла RO и окисла металла MO.

Таблица 23

Удельные веса и температура плавления некоторых окислов

Окислы	Химическая формула	Удельный вес Г/см ³ (20°С)	Температура плавления, °С
Окись алюминия	Al ₂ O ₃	3,96 (35,71)	2050
Окись бериллия	BeO	3,06 (30,0)	2500
Окись-закись железа	Fe ₃ O ₄	5,70 (55,8)	1560
Окись железа	Fe ₂ O ₃	5,16 (50,57)	1538
			(разложение)
Окись кадмия	CdO	8,15 (77,87)	1426
Окись калия	K ₂ O	2,32 (21,71)	—
Окись магния	MgO	3,65 (35,77)	2800
Закись марганца	MnO	5,65 (55,77)	1785
Окись меди	CuO	6,10 (59,78)	1076
Закись меди	Cu ₂ O	6,98 (67,42)	1235
Окись натрия	Na ₂ O	2,25 (22,05)	920
Закись никеля	NiO	2,05 (19,09)	1665
Окись олова	SnO	6,0 (61,74)	1040
Окись свинца	PbO	9,10 (91,14)	870
Окись серебра	Ag ₂ O	7,52 (73,4)	300
Трехокись сурьмы	Sb ₂ O ₃	5,60 (54,88)	356
Окись хрома	Cr ₂ O ₃	5,21 (51,35)	1440
Окись цинка	ZnO	5,42 (53,12)	1800

К раскислителям предъявляются следующие требования:

а) упругость диссоциации окислов раскислителя, образующихся в результате восстановления, должна быть значительно ниже упругости диссоциации окислов раскисляемого металла;

б) образующиеся в результате раскисления окислы RO не должны растворяться в металле;

в) образующиеся после раскисления окислы раскислителя должны легко удаляться из жидкого металла: всплывать в шлак или испаряться;

г) остаточное количество раскислителя в жидком металле не должно оказывать вредного влияния на его свойства.

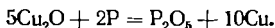
В качестве раскислителей при плавке тяжелых цветных металлов и сплавов применяются вещества, растворяющиеся в раскисляемом сплаве.

Раскислители вводятся в сплав после его расплавления в жидкую ванну печи или в ковш перед разливкой сплава.

К числу раскислителей относятся: фосфор, марганец, кремний, магний, литий, кальций и др.

Фосфор применяется при приготовлении медных сплавов для раскисления меди перед присадкой остальных составляющих сплава. Вводится он в виде меднофосфористой лигатуры.

При этом происходит реакция:



При температуре расплавленной меди ангидрид фосфорной кислоты P_2O_5 испаряется. Пузырьки P_2O_5 , поднимаясь вверх через толщу жидкого металла, увлекают за собой твердые включения и газы.

Одновременно P_2O_5 реагирует с оставшейся в металле закисью меди и образует фосфорнокислую соль закиси меди, всплывающую в виде жидких капель на поверхность раскисленной меди.

Марганец применяется при производстве медноникелевых сплавов (мельхиора, нейзильбера). Вводится в виде медномарганцевой лигатуры в количестве 0,2—0,3% от веса металла.

Кремний применяется для раскисления меди в виде меднокремниевой лигатуры, содержащей 20—25% Si в количестве 0,3—0,5% от веса металла.

Магний применяется для раскисления никеля и его сплавов. Он является не только раскислителем, но и десульфуратором и дегазатором. Вводится в количестве 0,05—0,1% от веса металла.

Литий является одним из наиболее эффективных раскислителей для меди, но он дорог и в чистом виде или в виде лигатур с кальцием и металлом применяется редко. Окись лития остается в меди в виде твердых включений. Если в меди одновременно присутствуют кислород и водород, то после введения лития образуется гидрат окиси лития (имеющий температуру плавления 445° С), всплывающего на

поверхность раскисленной меди в виде шаровидных включений.

Кальций — хороший раскислитель меди: в результате раскисления, но образует окись кальция в виде дисперсных включений, которые полностью не всплывают, запутываются в металле, снижая его жидкотекучесть и механические свойства.

Применяются различные комплексные раскислители, например металлофосфористацинковый раскислитель, содержащий 76% порошкообразного цинка, 20% красного фосфора и 4% смолистого связующего вещества и др.

Для раскисления бронз вместо фосфористой меди применяется также карбид кальция, который, взаимодействуя с окислами меди по реакции:



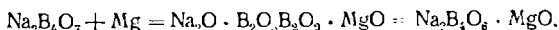
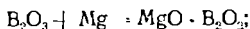
выделяет из окислов медь, образуя несмачиваемый металлом шлак (сухой, рассыпчатый, пепельного цвета) с минимальным содержанием меди.

Внедрение этого раскислителя, например, на Прилуцком заводе противопожарного оборудования позволило снизить угар с 8—10 до 3% и сэкономить на каждые 100 т литья около 4 т меди. Достигнута также значительная экономия за счет разницы в стоимости фосфористой меди и карбида кальция.

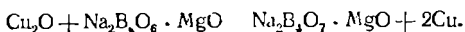
Как показал опыт, наилучшие результаты достигаются при применении гранулированного ($\approx$ зерна 2—3 мм) или мелконтоложенного карбида кальция. Расход карбида кальция — 0,5% от веса шихты.

Раскисление меди, используемой для изготовления изделий с высокой электропроводностью, производится поверхностными раскислителями. В этом случае процесс раскисления происходит медленнее, так как раскислители не вводятся в расплавленный металл, не растворяются в нем, а лишь даются на его поверхность.

Поверхностные раскислители не оказывают вредного влияния, так как их избыток не растворяется в металле. Примером такого раскисления может служить восстановление окиси меди борным шлаком, образующимся в результате взаимодействия борного ангидрида или буры с магнием:



Раскисление меди борным шлаком происходит по реакции:



Приготовление борного шлака производится следующим образом. Обезвоженная и измельченная борная кислота или бура смешивается с порошком магния в соотношении 95 : 5. Эта смесь выдерживается в тигле при температуре 1000—1100° С в течение 5—10 мин, после чего сливается в изложницу.

В свинцовооловянных и цинковых сплавах окислы находятся в виде твердых включений и взвесей и удаляются из расплава отстаиванием и флотацией. При плавке свинцовооловянных сплавов в печах большой емкости очистка жидкого металла от окислов производится введением сосновой жерди в толщу ванны, расплавленной и перегретой до температуры 610—630° С. Образующиеся при этом газы пронизывают толщу жидкого металла, укладывая за собой твердые окислы.

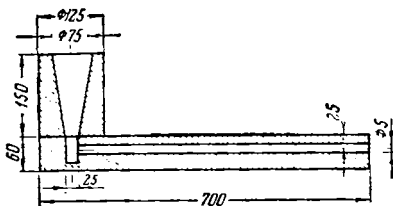


Рис. 40. Прутковая проба для определения жидкотекучести

Аналогичное действие оказывает введение в толщу жидкого металла пек в дверчатом колоколе. Пек по эффекту действия равноценен дереву, но образует большое количество копоти, ухудшая санитарно-гигиенические условия труда.

Ниже, весьма подробно, в качестве примеров излагаются основные технологические процессы плавки и разливки некоторых тяжелых цветных металлов и сплавов для отливок и слитков, введенных на заводах Советского Союза. В табл. 24 и 25 приведены примерные формы операционных карт плавки и разливки сплавов, принятых на многих заводах.

При плавке металлов и сплавов часто пользуются различными технологическими пробами для определения одного из важнейших литейных свойств металла — жидкотекучести, т. е. способности заполнять полость литейных форм.

Определение жидкотекучести металлов в условиях литейных производств имеет практическое значение, так как влияет на заполняемость форм и получение плотных отливок.

Заполняемость полости формы зависит не только от свойств металла, но и от качества отливки форм, условий их заполнения и других факторов, которые при определении жидкотекучести и получении сравнительных результатов должны быть постоянными и воспроизводимыми.

Примерная форма операционной карты плавки (шихтовка)

Данные		Операционная карта плавки (шихтовка)												Сплав		С начала года		С начала года	
№	п/п	Состав шихты	Номер плавки или скандель-ст 49	G _с	G _д	Элементы										Другие	В ковш	В печь	Раскислители (модификаторы)
						Al	Be	W	Mo	Mn	Cu	Ni	Pb	Sb	Ti				
1		Исходные металлы																	
2																			
3																			
4																			
5																			
6																			
7		Лигатуры																	
8																			
9																			
10		Раскислители (модификаторы)																	
11																			
Расчетный состав																			
Химанализ																			
Спектральный анализ																			
Раскислители																			
Загрузка																			
Взвешивание																			
Раскислители																			

Примерная форма операционной карты плавки (плавка-заливка)

Служба		Операционная карта плавки (плавки-заливка)						Мастер или бригадир плавки	
Номер печи									
Хронометраж плавки					Подшивка			Показания счетчика	
№ п.п.	Наименование операции	Начало, час, мин	Конец, час, мин	Продолжи- тельность, час, мин	Материал	Номер плавки или свиде- тель- ства	Вес, кг	конеч- ные	началь- ные
1.	Загрузка печи							Расход эле- ктроэнергии (топлива)	
2.	Расплавление								
3.	Корректировка состава								
4.	Раскисление (ра- финирование)							на пла- ску	на тонну
5.	Модифицирова- ние							Температура металла, °С	
6.	Разливка металла								

Выход

№ п.п.	Номер заготовки	Модифицирующая шихта	Черновой вес, кг	Общий вес, кг			Угар		Замечания по плавке
				черновой	остаток в печи	сплавки	кг	%	
1.									

Подпись мастера или бригадира по плавке

В цветнолитейном производстве наибольшее применение получили технологические пробы:

- а) прутковая (рис. 40);
- б) спиральная (рис. 41);
- в) шариковая, разработанная А. Г. Спасским, для заливки в металлические и песчано-глинистые формы (рис. 42);
- г) клиновая А. Г. Спасского (рис. 43);
- д) V-образная Ю. А. Нехендзи и А. М. Самарина, видоизмененная А. П. Проновым (рис. 44);
- е) шестилучевая «звездного» типа В. Кондика (рис. 45);
- ж) новая комплексная проба Ю. А. Нехендзи, А. М. Самарина, К. П. Лебедева и И. В. Купцова (рис. 46).

Весьма ограниченное применение нашла рекомендованная А. Г. Спасским клиновая проба. Сущность испытания жидкотекучести металлов методом отливки клиньев заключается в том, что при заполнении полости формы, сделанной в виде острого клина, металл не заполняет всей полости, так как сопротивление его по мере поступления в суживающееся сечение клина увеличивается. Конечный клин вместо острого ребра имеет закругленное. Мерой определения жидкотекучести служит зазор, образовавшийся между острым ребром в форме и закругленным углом в отлитом образце. Этот зазор легко определяется при приложении к отлитому клину двух линеек (см. рис. 42).

По мнению А. Г. Спасского, клиновые пробы для определения способности металла заполнять форму в сравнении со спиральными имеют то преимущество, что дают возможность, во-первых, испытывать подвижность жидкого, некристаллизующегося металла, во-вторых, испытывать свойства его в одинаковых условиях, так как объем металла пробы при этом практически не изменяется.

Определение жидкотекучести металлов методом отливки клиньев, однако, представляет некоторые неудобства, заключающиеся в том, что при вертикальной заливке клина острием вниз на заполнение полости формы влияет не только статический напор, но и динамический, а при горизонтальной заливке (по плоскости разреза-

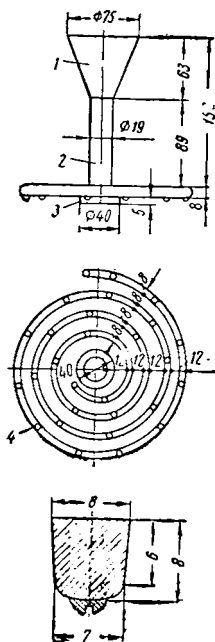


Рис. 41. Спиральная проба для определения жидкотекучести

ма) имеет значение непостоянство размеров острия. При расположении клина острием кверху искажаются его размеры из-за усадки.

Кроме того, само измерение степени заполнения формы затруднено в связи с необходимостью вычерчивания клина или изготовления специального шаблона. Другая, разработанная А. Г. Спасским, шариковая проба для определения жидкотекучести металлов лишена этих недостатков.

Она может применяться для отливки в металлические и земляные формы.

На рис. 43 показана металлическая форма, состоящая из 3 частей:

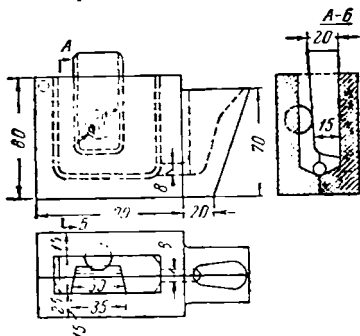


Рис. 42. Металлическая форма для отливки шариковой пробы А. Г. Спасского



Рис. 43. Клиновая проба А. Г. Спасского

двух половинок и вставки. В одной из половинок залит шарик 20 мм, другая половинка имеет гладкую стенку. После сборки двух половинок формы в нее сверху свободно опускается вставка, имеющая форму клина. Вставка опускается в полость формы до соприкосновения с шариком, опершись на который, она остается в определенном положении.

Подвод металла осуществляется через литник, подведенный по вертикальной плоскости разреза в нижнюю часть формы. Пространство между вставкой и шариком заполняется за исключением отверстия, величина которого (площадь отверстия или средний диаметр) служит мерой определения жидкотекучести (мерой подвижности металла в жидком состоянии).

При смачивании формы жидкостью отверстие приняло бы размеры, приближающиеся к точке (шар касается плоскости в одной точке), при несмачивании могут получаться большие или меньшие отверстия в зависимости от поверхностного натяжения жидкости.

Всегда устойчивые результаты получаются при применении V-образной технологической пробы Ю. А. Нехендзи и А. М. Самарина, введенной А. П. Проновым (рис. 44).

Большое внимание шестилучевая технологическая проба привлекла к себе, предложенная В. Кондином (рис. 45).

Форма просушивается по «СО₂ процессу» (по выбору из облицовочного состава или зеленого песка).

Для определения жидкотекучести металла рекомендуется провести серию опытов, которые должны послужить основанием для построения кривой зависимости длины, залитой металлом, пробы от температуры металла в момент заливки. Проба на жидкотекучесть применяется как плавочная для контроля степени перегрева и качества металла.

Отбор проб производится как до выпуска металла из печи, так и после выпуска перед заливкой в формы.

Полученные результаты подтвердили эффективность применения данной пробы в производстве литья из черных и цветных металлов.

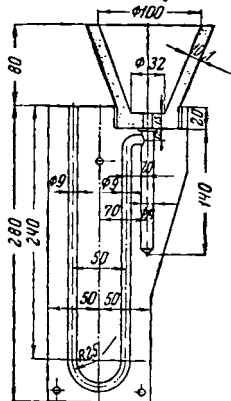


Рис. 44. V-образная технологическая проба Ю. А. Нехендзи и А. М. Самарина, видоизмененная А. П. Проновым

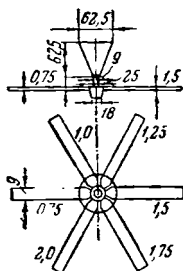


Рис. 45. Шестиугольная технологическая проба звездного типа В. Кондака

В последнее время Ю. А. Нехендзи, А. М. Самарин, К. П. Лебедевым и Н. В. Купцовым (ЛПИ им. Калинина) разработана новая конструкция комплексной технологической пробы для определения литейных свойств (жидкотекучести, линейной усадки, трещинопоражаемости и др.) сплавов при заливке на воздухе и в вакууме (см. рис. 46).

Комплексная проба (разъемная по вертикальной плоскости) устанавливается на рабочей площадке, в лаборатории или в вакуумной печи.

Заливка пробы на воздухе производится мерной ложкой или тиглем соответствующей емкости пробы.

Для получения более надежных и контролируемых результатов определения литейных свойств рекомендуется одновременно заливать две взаимно дублирующие пробы.

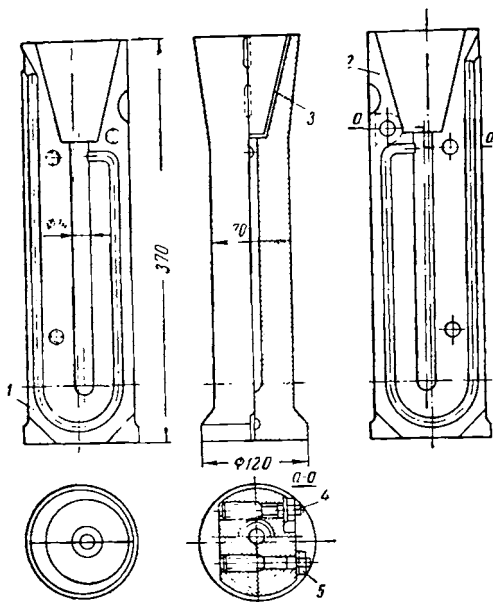


Рис. 46. Новая комплексная проба Ю. А. Нехендзп, А. М. Самарина, К. П. Лебедева и И. В. Купцова

1 — левая половина кокля; 2 — правая половина кокля; 3 — керамическая воронка; 4 — шпилька; 5 — гайка

Измерение температуры заливаемого металла производится с помощью термопары погружения (в ковше или непосредственно в воронку пробы).

По свидетельству авторов проба эта дает точные результаты при исследовании литейных свойств различных марок легированных сталей, цветных металлов и сплавов.

Плавка и разливка оловянных бронз марок ОЦНЗ-7-5-1, ОЦС6-6-3 ОЦС8-4-3, ОЦ10-2 и ОС10-5 Плавка оловянных бронз производится в тигельных горнах, электрических дуговых и индукционных печах.

В качестве шихтовых материалов применяются:

- а) медь марок М0, М1 М2 (ГОСТ 859—41);
- б) цинк марок Ц1, Ц2, Ц3 и Ц4 (ГОСТ 3640—65);
- в) олово не ниже марки ОЗ (ГОСТ 860—60);

г) медь фосфористая всех марок (ГОСТ 4515—48);
 д) свинец марок С1, С2 (ГОСТ 3778—56);
 е) никель марок Н1 и Н2 (ГОСТ 849—56);
 ж) паспортные чушки оловянных бронз соответствующего химического состава, (ГОСТ 614—65);

з) оборотные отходы собственного производства гарантированного химического состава;

и) чушки переплава известного химического состава, полученного из стружки. Олово для сплава марки ОЦС8-4-3 применяется только для подшихтовки к паспортной чушке.

Литники и отходы собственного производства разрешается вводить в шихту в количестве не более 40%, чушки переплава из стружки — до 30%. Применение в шихту материалов, загрязненных маслом, нефтью или землей, а также влажных или покрытых снегом и льдом — не допускается.

Перед введением в расплавленный металл все шихтовые материалы нагреваются до температуры 100—150° С.

Если в состав металла предыдущей плавки входили вредные для оловянной бронзы элементы (например, кремний в кремнистой или алюминий в алюминиевой бронзах), необходимо провести промывную плавку меди. После получения химического анализа меди последняя может быть в дальнейшем частично использована в составе шихты.

Расчет шихты производится в соответствии с данными, приведенными в табл. 26.

Таблица 26

Состав шихты, %

Марка сплава	Олово	Цинк	Свинец	Никель	Медь	Всего
ОЦСНЗ-7-5-1	3,0	9,5	4,5	1,0	82,0	100
ОЦС6-6-3	5,5	7,0	3,0	—	84,5	100
ОЦ10-2	9,5	4,0	—	—	86,5	100
ОЦ10-5	9,5	—	4,0	—	86,5	100
ОЦС8-4-3	7,5	5,0	3,0	—	84,5	100

После проведения первых плавок расчет шихты соответственно корректируется. Перед началом загрузки печь тщательно очищается от шлака, остатков металла и нагревается до температуры 600—700° С (вишнево-красного каления футеровки).

В печь загружают медь. Если вся медь в печи не помещается, оставшуюся ее часть загружают по мере расплавления предыдущей.

Никель, если он входит в состав шихты, загружают вместе медью.

Расплавленный металл нагревают до температуры 1200° С и раскисляют фосфористой медью в количестве 0,3—1,0% от веса меди (в зависимости от степени окисленности металла). Затем металл

тщательно перемешивают, удаляют шлак и в несколько приемов вводят в сплав входящие в состав шихты отходы и чушки переплава из стружки.

Каждую новую порцию отходов и чушки переплава из стружки вводят после расплавления предыдущей.

После расплавления отходов температуру доводят до 1160 — 1200 °С и вводят в печь цинк, предварительно подогретый до температуры 150 °С. Ванну тщательно перемешивают, вторично подогревают сплав и вводят предварительно подогретое олово. Свинец, если он входит в состав шихты, загружают вместе с оловом.

Затем ванну подогревают до температуры 1250—1280 °С, выдерживают в течение 5—10 мин и берут технологическую пробу на излом. При температуре 1220 — 1250 °С, если проба показала удовлетворительное качество (отсутствие окислов и пузырей), сплав выпускают в предварительно подогретый ковш. При заливке тонкостенных деталей рекомендуется добавить в ковш фосфористую медь в количестве 0,1 — 0,2% от веса металла для увеличения жидкотекучести сплава.

При разливке сплава окислы и шлак придерживают у носка ковша графитовой счещалкой, не допуская попадания их в форму.

Заливку деталей производят ровной струей при температурах, указанных в технологических картах. Заливку пробных планок производят при температуре 1150—1170 °С. В каждую отливку вставляют латунную или медную бирку с номером плавки.

После выбивки все отливки клеймят номером данной плавки.

Плавка и разливка алюминиевых бронз марок Бр.АМц9-2, Бр. АЖ9-4, Бр. АЖМц10-3-1,5 и Бр. АЖН10-4-4. Алюминиевые бронзы указанных марок можно изготавливать в индукционных и дуговых электропечах, а также в нефтяных, газовых и коксовых печах и горнах, в графитовых тиглях.

В качестве исходных шихтовых материалов применяются:

- а) медь марок М0 и М01 (ГОСТ 859—41) и медь электролитическая или огневой рафинировки марок М1 и М2;
- б) марганец металлический всех марок (ГОСТ 6008—51);
- в) мягкое железо в обрезках листов и проволоки или дробленой стружки, освобожденной от масла, эмульсий и пр.;
- г) алюминий первичный марок А1, А2 и А3 (ГОСТ 11069—64 и 11070—64);
- д) лигатуры, содержащие железо, марганец, никель и алюминий (Cu — Fe, Cu — Mn, Cu — Ni, и Cu — Al) собственного или фабричного производства;
- е) медь фосфористая всех марок (ГОСТ 4515—48);
- ж) оборотные отходы литейного цеха (чистые литники, выпоры, сплески);
- з) отходы механично-прессовых цехов соответствующих марок сплавов и стружка алюминиевых бронз, получаемая после механической обработки и плитков и отливок;

и) чушки переплава известного химического состава, полученные из стружки.

Никель, железо и марганец рекомендуется вводить в сплав в виде лигатур:

- а) медь — железо с содержанием 20—25% Fe,
- б) медь — марганец с содержанием 20—25% Mn;
- в) медь — никель марки МНЗЗ (ГОСТ 1067—41);
- г) медь — алюминий с содержанием 50% Cu и 50% Al.

Допускается также применение тройных лигатур, содержащих кроме железа, марганца и никеля, до 20% Al. Только в виде исключения, можно вводить в состав шихты указанные элементы в чистом виде, без лигатур.

Лигатуры можно изготовлять в тех печах, в которых приготавливали алюминиевые бронзы.

Оборотные отходы литейного цеха и переплав стружки известного химического состава разрешается вводить в шихту до 30—40%.

Если в печи до приготовления алюминиевых бронз выплавлялись другие сплавы, содержащие олово, свинец, кремний или цинк, то необходимо провести промывную плавку медью.

После получения химического анализа меди она может быть частично использована в составе шихты при выплавке соответствующих марок сплавов.

Расчет шихты ведется по среднему химическому составу по нормам ГОСТа на данный сплав. После проведения первых плавок расчет шихты корректируется.

В качестве примера в табл. 27 приводится расчет шихты.

Таблица 27

Расчет шихты

Марка сплава	Химический состав			Средний расчет шихты				
	Al	Fe	Mn	Al	Fe	Mn	Cu	Si
Бр.АМц 9-2 (для фасонного литья)	9,5	2,5		241	72			100
Бр.АЖМц 10- 3-1,5	10,0	3,0	1,5	314	90	21,0	12,0	5,0

До начала плавки печь тщательно очищают от остатков металла и шлака и нагревают до температуры не ниже 700° С (вишнево-красного каления футеровки).

На под печи загружают медь и железо (для сплавов Бр. АЖ9-4, Бр. АЖМц10-3-1,5 и Бр. АЖН10-4-4). Если вся медь в печи не помещается, оставшуюся часть вводят по мере расплавления предыдущей.

В качестве покрытия, предохраняющего металл от окисления, рекомендуется хорошо просушенный березовый уголь, который засыпают после загрузки меди и добавляют в процессе плавки, чтобы не открывать зеркала металла.

Вместо древесного угля применяют флюс, содержащий 90% битого стекла и 10% полевого шпата.

Расплавление шихты ведут с наибольшей интенсивностью.

После расплавления около 2/3 загруженного металла производят покачивание печи для ускорения процесса плавки и уменьшения износа футеровки.

В расплавленную и подогретую до 1200° С медь вводят фосфористую медь в количестве 0,3—1,0% (от веса меди и лигатуры) в зависимости от степени окисленности металла.

Лигатуры вводят в следующей последовательности. При изготовлении любого сплава последней вводится медноалюминиевая лигатура (или чистый алюминий), а непосредственно перед ней — медножелезная или медноалюминиевожелезная лигатура и лигатура медь — марганец или металлический марганец.

Если никель, железо и марганец добавляются в сплав без лигатур, то последовательность их загрузки такова: железо, марганец, никель. Чистые металлы (кроме алюминия) добавляются перед лигатурами.

Все лигатуры применяются в подогретом состоянии. Возвраты и чушки переплава стружки можно загружать одновременно с медью (отдельными порциями) и температуру ванны доводят до 1200° С.

Алюминий, предварительно подогретый до 150° С, вводят осторожно в несколько приемов, перемешивая сплав после введения каждой порции.

Берут технологические пробы на усадку и на изгиб.

Технологические пробы на усадку отливают в сухие песчаные формы, имеющие вид цилиндра ϕ 40—50 мм и h 100 мм, пробы на изгиб отливают в чугунные или графитовые изложницы.

Размеры слитка: 10 10 200 мм.

При качественной пробе (хорошая усадка, свободная от окислов и газовых раковин) сплав доводят до температуры 1200—1250° С и выпускают в предварительно подогретый, разливочный ковш.

Если технологическая проба показала неудовлетворительные результаты, например повышенную газонасыщенность сплава (по показателям или результату), производится вымораживание газов

путем охлаждения металла до температуры начала кристаллизации.

После вымораживания или остуживания сплав быстро нагревают до 1200—1250 С и выпускают в нагретый ковш для разливки.

В случае повторного получения неудовлетворительных результатов технологической пробы, сплав разливается в чушки.

Рекомендуемые температуры разливки сплавов: Бр. АЖ9-4 и Бр. АЖМц10-3-1,5—1100—1150°С; Бр. АМц9-2 и Бр. АЖН10-4-4—1140—1170°С.

Если слитки отливают методом сифонного заполнения, то температуру разливки соответственно повышают на 30—50 С.

Измерение температуры производят хромельалюмелевой или платино-платинородиевой термопарой погружения непосредственно в ковш перед заливкой.

Для предупреждения порчи платино-платинородиевой термопары при попадании жидкого металла внутрь железного чехла на нижний конец последнего надевается наконечник из жаропрочной стали. Перед измерением температуры термопару нагревают до 900—900 С. Можно пользоваться хромельалюмелевой термопарой с открытым спаем (без чехла).

Правка и разливка кремниевой латуни марки ЛК80-3Л. В качестве шихтовых материалов применяются:

- а) чушки паспортной кремнистой латуни (ГОСТ 1020—48);
- б) цинк марок Ц2, Ц3, Ц4 (ГОСТ 3640—65);
- в) возврат и отходы собственного производства (брак, литники, прибыли);
- г) переплав стружки ЛК80-3Л;
- д) медь марок М2, М3, М4 (ГОСТ 859—41);
- е) кремний кристаллический (ГОСТ 2169—43).

У всех шихтовых материалов, поступающих на плавку, должен быть проверен химический состав. Стружку кремнистой латуни предварительно переплавляют и ее химический состав проверяют в центральной лаборатории завода.

Шихту составляют из расчета: паспортной чушки — 39%, переплава стружки ЛК80-3Л—12% и возвратов собственного производства — 49%.

Перед началом плавки печь тщательно очищают от остатков металла предыдущей плавки. Если в печи плавилась сплавы, содержащие вредные примеси для данного сплава (например, алюминий в алюминиевой или олово в оловянной бронзах), то печь необходимо промыть медью.

В очищенную и разогретую до вишнево-красного каления печь загружают чушки паспортной латуни и расплавляют их. Снимают шлак и загружают отходы своего производства и переплав стружки ЛК80-3Л. После расплавления отходов сплав нагревают до температуры 1120—1150 С.

Сплав тщательно перемешивают, счищают шлак и берут технологические пробы на излом. Подшивтовку сплава по кремнию в случае необходимости производят при помощи меднокремниевой лигатуры.

Технологическая проба в изломе должна иметь мелкокристаллическое плотное строение со светлым оттенком, угол изгиба не менее 30° .

Рекомендуемая температура заливки форм — $980 \div 1080^\circ \text{C}$, пробных фасонных образцов — $1000 \div 1020^\circ \text{C}$.

ТЕХНОЛОГИЯ ПЛАВКИ И РАЗЛИВКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

§ 1. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ, СВОЙСТВА
И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Алюминий является самым распространенным металлом в природе. Его содержание в земной коре составляет 8,13%, тогда как содержание железа не превышает 5%.

Алюминий входит в состав бокситов, каолинов, нефелинов, олуитов и др. месторождений.

В качестве исходного сырья для получения алюминия чаще применяются бокситы, содержащие 50—60% $\text{Al}(\text{OH})_3$.

СССР обладает огромными запасами алюминиевых руд. Богатые месторождения бокситов имеются на Урале, в Башкирии, Казахстане и в Ленинградской области; нефелина — в Хибинах на Кольском полуострове и в Красноярском крае в Сибири.

Атомный вес алюминия — 26,98, удельный вес в жидком состоянии — $2,37 \text{ г/см}^3$ ($23,2 \text{ кн/м}^3$), в твердом — $2,7 \text{ г/см}^3$ ($26,5 \text{ кн/м}^3$), температура плавления алюминия высокой чистоты (99,99%) — 660 С, технического (99,5%) — 658 С. Алюминий обладает высокой тепло- и электропроводностью. Теплопроводность его — $0,52 \text{ кал/см} \cdot \text{сек} \cdot \text{град}$ ($217,6 \text{ вт/м} \cdot \text{град}$), теплопроводность алюминиевых сплавов — $0,3\text{—}0,48 \text{ кал/см} \cdot \text{сек} \cdot \text{град}$ ($125,5\text{—}200,9 \text{ вт/м} \cdot \text{град}$).

Электропроводность в зависимости от степени чистоты составляет 62—65% от электропроводности меди. Усадка при затвердевании — 6,6%.

Алюминий легко разрушается едкими щелочами, соляной и серной кислотами. Предел прочности алюминия (в чистом виде) — $9\text{—}12 \text{ кг/мм}^2$ ($88\text{—}117 \text{ Мн/м}^2$), удлинение — 10—25% и твердость по Бринеллю — $25\text{—}35 \text{ кг/мм}^2$ ($\sim 340 \text{ Мн/м}^2$).

Алюминий находит широкое применение в машиностроении, где вес конструкций машин играет решающую роль. Исключительное значение алюминия в развитии самолетостроения вызвало огромный рост производства этого металла во многих странах мира.

Он заслуженно пользуется репутацией «крылатого металла».

В химическом машиностроении он используется, как материал высокой коррозионной стойкости, в аппаратуре для производства азотной кислоты органических и других кислот, в пищевой промыш-

ленности — для изготовления цистерн для перевозки молока, бидонов, кастрюль и других предметов широкого потребления.

Сплав алюминия широко применяется во многих отраслях промышленности.

Алюминий и его сплавы легко поддаются обработке давлением — прокатке, прессованию, ковке, штамповке, волочению.

Основными легирующими компонентами алюминиевых сплавов являются кремний, магний, медь, цинк.

В зависимости от химического состава алюминиевые литейные сплавы по ГОСТ 2685—63 разделяются на пять групп:

I группа — сплавы на основе системы алюминий — магний; марки: АЛ8, АЛ13, АЛ22, АЛ23, АЛ23-1, АЛ27, АЛ27-1, АЛ28 и АЛ29;

II группа — сплавы на основе системы алюминий — кремний; марки: АЛ2, АЛ4, АЛ4В, АЛ9 и АЛ9В;

III группа — сплавы на основе системы алюминий — медь; марки: АЛ7, АЛ7В и АЛ19;

IV группа — сплавы на основе системы алюминий — кремний — медь; марки: АЛ3, АЛ3В, АЛ5, АЛ6, АЛ10В, АЛ14В и АЛ15В;

V группа — сплавы на основе системы алюминий — прочие компоненты (в том числе никель, цинк, железо); марки: АЛ1, АЛ11, АЛ16В, АЛ17В, АЛ18В, АЛ20, АЛ21, АЛ24, АЛ25, АЛ26 и АЛ30.

В обозначениях марок буква В указывает, что отливки изготавливаются из литейных алюминиевых сплавов в чушках по ГОСТ 1583—65.

Химический состав и механические свойства алюминиевых сплавов указаны в табл. 28 (см. вклейку между стр. 152—153) и 29.

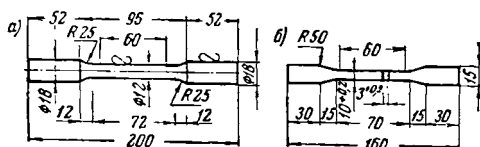


Рис. 47. Форма и размеры круглых образцов (отдельно отлитых в землю) для механических испытаний алюминиевых сплавов

Определение химического состава сплавов производится по ГОСТ 2788—51 или по ГОСТ 7727—60.

Допускается определение химического состава сплавов другими методами при условии, что точность определения лежит в пределах, установленных ГОСТ 2788—51 и ГОСТ 7727—60.

Определение предела прочности на разрыв и относительного удлинения производится по ГОСТ 1497—61.

Группа сплавов	Марка сплава	Основные компоненты						
		магний	кремний	марганец	медь	цинк	алюминий	титан
I	АЛ8	9,5—11,5	—	—	—	—	—	—
	АЛ27	9,5—11,5	—	—	—	—	—	—
	АЛ27—I	9,5—11,5	—	—	—	—	—	—
	АЛ13	4,5—5,5	0,8—1,3	0,1—0,4	—	—	—	—
	АЛ22	10,5—13,0	0,8—1,2	—	—	—	—	—
	АЛ23	6,0—7,0	—	—	—	—	—	—
	АЛ23—I	6,0—7,0	—	—	—	—	—	—
	АЛ28	4,8—6,3	—	0,4—1,0	—	—	—	—
АЛ29	6,0—8,0	0,5—1,0	0,25—0,60	—	—	—	—	
II	АЛ2	—	10,0—13,0	—	—	—	—	—
	АЛ4	0,17—0,3	8,0—10,5	0,2—0,5	—	—	—	—
	АЛ4В	0,2—0,4	8,0—11,0	0,2—0,5	—	—	—	—
	АЛ9	0,2—0,4	6,0—8,0	—	—	—	—	—
	АЛ9В	0,2—0,5	6,0—8,0	—	—	—	—	—
III	АЛ7	—	—	—	4,0—5,0	—	—	—
	АЛ7В	—	—	—	3,0—5,0	—	—	—
	АЛ19	—	—	0,6—1,0	4,5—5,3	—	—	—
IV	АЛ3	0,25—0,6	4,5—5,5	0,6—0,9	1,5—2,0	—	—	—
	АЛ3В	0,2—0,8	4,0—6,0	0,2—0,8	1,5—2,5	—	—	—
	АЛ5	0,35—0,6	4,5—5,5	—	1,0—1,5	—	—	—
	АЛ6	—	4,5—6,0	—	2,0—2,0	—	—	—
	АЛ10В	0,2—0,5	4,5—6,5	—	6,0—8,0	—	—	—
	АЛ14В	0,2—0,6	6,0—8,0	0,2—0,6	1,5—3,0	—	—	—
	АЛ15В	—	3,0—5,0	0,2—0,6	2,5—5,0	—	—	—
	АЛ1	1,25—1,75	—	—	3,75—4,30	1,75—2,25	—	—
	АЛ11	0,1—0,3	6,0—8,0	—	—	—	10—12,0	—
V	АЛ16В	—	3,0—5,0	0,2—0,5	2,0—4,0	—	2,0—2,5	—
	АЛ17В	0,1—0,3	3,5—5,5	0,4—0,7	0,5—1,0	—	5,0—7,0	—
	АЛ18В	—	1,5—2,5	0,3—0,8	2,5—4,5	—	—	—
	АЛ20	0,7—1,2	1,5—2,0	0,15—0,20	3,5—4,5	—	—	—
	АЛ21	0,8—1,3	—	0,15—0,25	4,6—6,0	2,6—3,6	—	—
	АЛ24	1,5—2,0	—	0,2—0,5	—	—	3,5—4,5	—
	АЛ25	0,8—1,3	11,0—13,0	0,3—0,6	1,5—3,0	0,8—1,1	—	—
	АЛ26	0,4—0,7	20,0—22,0	0,4—0,8	1,5—2,5	1,0—2,0	—	—
	АЛ30	0,8—1,3	11,0—13,0	—	0,8—1,5	0,8—1,3	—	—

Примечания

1. При применении в сплаве марки 1228

АЛ22

[illegible]

мышьяка 0,01% в циклах 1-9.

В графиках содержатся примеры жидких сред: 3 — в жидк. С — обон.

Примеси, %, не более																							
хром	титан	бериллий	цирконий	алюминий	Мг-д-з														Сумма элементов в пересчете на Fe				
					З	О	Л	К	Д	Медь	хромин	марганец	никель	цинк	олово	свинец	натрий	калий	сера	цирконий	В	К	Д
—	—	—	—	—	0,3	0,3	—	—	0,1	0,1	0,3	0,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	0,05—0,15	0,05—0,15	0,05—0,20	—	0,2	0,2	0,2	—	0,2	0,1	0,15	0,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	0,05—0,15	—	—	0,05	0,05	0,05	—	—	0,05	0,1	0,05	0,05	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	0,05—0,15	—	—	—	0,5	0,5	1,5	—	—	—	0,1	0,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	0,05—0,15	0,03—0,07	—	—	0,5	1,0	1,2	—	—	—	—	0,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	0,05—0,15	0,02—0,10	0,05—0,20	—	0,2	0,2	—	—	0,2	0,1	0,15	0,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	0,05—0,15	0,02—0,10	0,05—0,20	—	0,05	0,05	—	—	0,05	0,1	0,05	0,05	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	0,05—0,15	—	—	—	0,3	0,4	0,5	—	0,1	—	0,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	0,9	—	—	—	0,1	0,2	—	—	—	—	—	0,01	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	нестабильное	0,8	1,0	1,5	0,1	—	0,5	0,5	—	—	—	—	—	—	—	—	2,2	2,3	2,5
—	—	—	—	—		0,6	0,9	1,0	—	—	—	0,5	—	—	—	—	—	—	—	—	1,2	1,5	1,6
—	—	—	—	—		0,9	1,2	1,3	—	—	—	1,0	—	—	0,3	—	0,15	0,1	—	—	2,6	2,9	3,0
—	—	—	—	—		0,6	1,0	1,5	—	—	0,5	0,2	—	0,01	0,05	—	0,15	0,1	—	—	1,2	1,6	2,1
—	—	—	—	—	—	1,1	1,2	1,3	—	—	0,6	1,5	0,5	—	0,3	—	—	—	—	—	3,7	3,9	4,1
—	—	—	—	—	—	1,0	1,0	—	0,03	1,2	0,1	—	0,2	0,01	0,01	—	0,2	—	—	—	2,2	2,2	—
—	0,15—0,25	—	—	—	—	1,1	1,3	—	0,3	1,5	0,5	—	0,5	—	—	0,3	—	—	—	—	4,0	4,2	—
—	—	—	—	—	—	0,2	—	—	0,05	0,3	—	—	—	—	0,1	—	—	—	0,20	1,6	0,8	—	
—	—	—	—	—	—	0,6	1,2	1,5	—	—	—	—	0,3	0,01	0,05	—	—	—	—	—	1,2	1,8	2,0
—	—	—	—	—	—	1,1	1,3	1,5	—	—	—	—	0,5	—	—	0,5	—	—	—	—	2,0	2,1	2,3
—	—	—	—	—	—	0,6	1,0	1,5	—	—	0,5	—	0	0,01	—	—	0,15	0,1	—	—	1,1	1,4	1,8
—	—	—	—	—	—	1,1	1,4	1,5	0,1	—	0,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,8	2,0	2,2
—	—	—	—	—	—	1,2	1,2	1,3	—	—	0,3	—	—	—	—	0,5	—	—	—	—	2,3	2,7	—
—	—	—	—	—	—	1,1	1,3	1,5	—	—	—	—	—	—	—	0,3	—	—	—	—	1,8	2,0	2,0
—	—	—	—	—	—	1,2	1,3	1,5	0,5	—	—	—	—	—	—	0,5	—	—	—	—	4,0	4,1	—
—	—	—	—	—	—	0,8	0,8	—	—	0,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,5	1,5	—
—	—	—	—	—	—	0,8	1,2	1,5	—	—	0,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,6	2,0	2,6
—	—	—	—	—	—	1,1	1,2	—	0,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,7	1,9	—
—	—	—	—	—	—	1,2	1,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,7	2,0	—
—	—	—	—	—	—	—	—	0,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,7	—	—
0,15—0,25	0,05—0,10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,1—0,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	0,1—0,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	0,6	0,6	—	—	0,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,1	1,4	—
—	—	—	—	—	—	0,5	—	—	—	0,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,0	—	—
—	0,05—0,20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,1—0,4	—	—	—	—	—	0,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,2	—	—
—	—	—	—	—	—	0,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,9	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,2	—	—

* марки АЛ2 не должно превышать 0,2%, а

циркония кремния до 3%, * — сплав марки

ИП магний: * сплав марки АЛ27 допускается

циркония кремния должно превышать 0,12%

* — сплав марки АЛ27 допускается

* — сплав марки АЛ27 допускается

* — сплав марки АЛ27 допускается

Механические свойства алюминиевых сплавов

Таблица 10

Группа сплавов	Марка сплавов	Способ литья	Вид термической обработки	Предел прочности на растяжение, кг/см ²	Предел текучести, кг/см ²	Удлинение, %
I	АЛ8	З, О, В, К	T4	29	—	30
	АЛ27	З, О, К, Д	T4	32	12	30
	АЛ27-1	З, О, К, Д	T4	35	15	30
	АЛ13	З, О, В, К	—	15	—	55
		Д	—	17	—	50
		З, О, В, К	—	18	1	50
	АЛ22	З, О, В, К	T4	21	15	40
		Д	—	1	1	40
		З, О	—	1	1	40
	АЛ23	К, Д	—	20	—	40
		З, О, К	T4	20	6	40
		З, О	—	20	—	40
II	АЛ23	К, Д	—	21	10	40
	АЛ28	З, О, К	T4	20	—	35
		З, О, В	—	20	—	35
		К	—	21	—	35
	АЛ29	Д	—	21	—	35
		Д	—	21	—	35
		ЗМ, ОМ, ВМ, КМ, К	—	15	—	50
	АЛ2	Д	—	16	—	50
		ЗМ, ОМ, ВМ, КМ, К	—	16	—	50
		Д	T2	14	4	50
		К	T2	15	—	50
		Д	T2	17	2	50
		З, О, В, К, Д	—	17	2	50
		К, Д	П1	20	1	50
	АЛ4	ЗМ, ОМ, ВМ	T6	20	3	50
		К, З, К	T6	24	—	50
	АЛ4В	З	—	16	—	50
		К	T6	20	0,1	50
		З, О, В, К, Д	—	20	0,2	50
	АЛ9	Д	—	17	1	50
		З, О, В, К, Д	T2	14	2	45
		К	T4	19	4	50
		З, О, В	T4	28	4	50
		К	T5	21	2	50
		З, О, В	T5	20	2	50
		ЗМ, ОМ, ВМ	T6	20	1	50
		ЗМ, ОМ, ВМ	T7	20	2	50
		ЗМ, ОМ, ВМ	T8	16	—	55
	АЛ9В	З	—	13	0,5	60
		К	—	16	0,1	60
		З	—	16	0,1	60
		К	T5	20	0,1	60
		З, О, В	T4	20	—	60

Группа сплавов	Марка сплава	Способ литья	Вид термической обработки	Предел прочности на разрыв, кг/мм ²	Относительное удлинение, %	Твердость по Бринеллю HB, (кг/мм ²)
III	АЛ7	К	T4	21	6	60
		З, О, В	T5	22	3	70
		К	T5	23	3	70
	АЛ7В	З	—	13	0,5	55
		К	—	16	1	55
		З	T5	22	1	70
	АЛ19	К	T5	25	2	70
		З, О, В	T4	30	8	70
		З, О, В	T5	34	4	90
		К	—	16	0,5	65
		З, О, В	—	14	0,5	65
		З, О, В, К	T1	17	—	70
		З, О, В, К	T2	15	1	65
IV	АЛ3	З, О, В	T5	22	0,5	75
		К	T5	25	0,5	75
		З, О, В, К	T7	21	1	70
		З, О, В, К	T8	18	2	65
		Д	—	16	0,5	65
		З	—	12	—	65
		К	—	16	0,5	65
	АЛ3В	З	T5	21	—	75
		К	T5	24	0,5	75
		З	T8	15	1	65
		К	T8	18	2	65
		Д	—	15	0,5	65
		З, О, В, К	T1	16	0,5	65
	АЛ5	З, О, В, К	T5	20	0,5	70
		З, О, В, К	T6	23	0,5	70
		З, О, В, К	T7	18	1	65
	АЛ6	З, О, В, К	T2	15	1	45
		Д	—	15	1	45
		З	—	13	—	80
	АЛ10В	К	—	16	—	80
		З	T1	17	—	90
		К	T1	15	—	80
		З	—	13	0,5	70
		К	—	17	0,5	70
		З	T5	20	0,5	85
	АЛ14В	К	T5	24	0,5	85
		З	—	15	—	70
		К	—	18	0,5	70
	АЛ15В	З	T5	20	—	80
		К	T5	22	0,5	85
V	АЛ1	З, О, В, К	T5	21	0,5	95
		З, О, В, К	T7	16	1	80
		З, О, В	—	20	2	80
	АЛ11	З, О, В	—	20	1,5	90
		З, О, В	—	18	1	60
		З, О, В	—	16	—	65

Группа сплавов	Марка сплавов	Способ литья	Вид термической обработки	Предел прочности на разрыв, кг/мм ²	Относительное удлинение, %	Твердость по Бринеллю, кг/мм ²
V	АЛ16В	К	—	17	—	65
		З	T5	20	—	70
		К	T5	22	0,5	70
		З	—	18	—	65
		К	—	20	1	65
	АЛ17В	З	T1	19	—	65
		К	T1	22	—	70
		З	T2	19	1	65
		К	T2	21	1	65
		З	T4	20	1	70
	АО17В	К	T4	22	1,5	80
		З	T5	20	—	70
	АЛ18В	К	T5	24	—	85
		З, О, В, К	—	18	—	65
	АЛ20	З, О, В, К	T2	16	1	65
		З, О, В, К	T5	23	1	65
	АЛ21	З, О, В, К	T7	21	1	65
		З, О, В	T2	18	1	65
	АЛ24	З, О, В	T7	21	1	75
		З, О, В	—	22	2	60
	АЛ25	З, О, В	T5	27	2	70
		К	T1	19	—	90
	АЛ26	К	T2	16	—	90
	АЛ30	К	T1	20	0,5	80

Примечания.

1. В графе «Способ литья» буква М обозначает, что сплав при литье подвергается модифицированию.

2. Условные обозначения видов термической обработки: T1 — старение; T2 — отжиг; T4 — закалка; T5 — закалка и частичное старение; T6 — закалка и полное старение до максимальной твердости; T7 — закалка и стабилизированный отпуск; T8 — закалка и смягчающий отпуск.

Форма и размеры отдельно отлитых образцов для определения механических свойств сплавов при литье в землю, в кокиль и в оболочковые формы показаны на рис. 47, а.

Допускается укорочение длины головки.

Форма и размеры отдельно отлитых под давлением образцов для определения предела прочности на разрыв и относительного удлинения при литье под давлением показаны на рис. 47, б.

Отдельно отлитые образцы при всех видах литья испытывают без механической обработки с литейной коркой.

Образцы, вырезанные из прилитых к отливке заготовок должны, иметь диаметр 6,0 мм при расчетной длине $l = 5d$.

Испытание на твердость по Бринеллю должно производиться по ГОСТ 9012—59 при диаметре шарика 10 мм и нагрузке 1000 кг (9800 Н).



Рис. 48. Шкала
ВИАМа газовой по-
ристости алюми-
невых сплавов:

1 — малая пори-
стость; 2 — пони-
женная пористость; 3 — средняя пори-
стость; 4 — повышенная пористость;
5 — высокая пористость.

К новым сплавам, разработанным в последнее время, относятся марки сплавов: I группы — АЛ27; (АЛ8У)*; АЛ27—1 (АЛ8У); АЛ23 (АМг6Л); АЛ23-1 (АМг6Л); АЛ28 (45Мг2); АЛ29 (АМг7Л); АЛ22 (В11-11-3); III группы — АЛ19 и V группы — АЛ20 (В14А); АЛ21 (В300); АЛ124 (ВАЛ4 и ВЛ15); АЛ25 (ЖЛС-1) и АЛ26 (ВКЖЛС).

К сплавам предъявляются требования в отношении их литейных свойств, обеспечивающих получение отливок без дефектов. К ним относятся жидкотекучесть и вязкость (величина обратная жидкотекучести).

На жидкотекучесть металлов влияют теплопередача, поверхностное натяжение, характер кристаллизации, метод подвода металла, газосодержание, перегрев металла, характер движения его в форме, отделка форм и пр.

Для отливок из алюминиевых сплавов, особенно при работе их в условиях различных агрессивных сред, важное значение имеет микропористость. Поры могут явиться очагами коррозии и причиной последующего разрушения сплава.

Допустимая степень пористости на поверхности отливок, работающих в агрессивных средах или в условиях переменных нагрузок, а также массивных и металлоемких отливок малой нагруженности, оговаривается специальными техническими условиями и проверяется по эталонам газовой пористости.

ВИАМом разработана шкала эталонов, предназначенная для определения по макрошлифам степени газовой пористости литых деталей из алюминиевых сплавов. Шкала состоит из 5 эталонов (рис. 48).

Допустимое количество пор на 1 см² поверхности макрошлифов и их диаметр в зависимости от номера эталона приведены в табл. 30.

* В скобках указаны прежние обозначения марок сплавов, которые существовали до введения новых сплавов в ГОСТ 2685—63.

Шкала газовой пористости алюминиевых сплавов (ВИАМ)

Номер эталона	Количество пор на 1 см ³ , не более	Диаметр пор, мм, не более	Количество пор
1	5	0,1	100
2	10	0,1 0,2	80 20
3	15	0,3 0,5	80 20
4	20	0,5 1,0	70 30
5	25	0,5 1,0 > 1,0	60 30 10

Макрошлифы обрабатывают 10—15%-ным водным раствором едкого натрия (подогретого до 60—80° С) и выдерживают в нем до появления темной пленки, после чего промывают водой и погружают в 20—30%-ный раствор азотной кислоты, где темная пленка растворяется.

Степень пористости макрошлифов устанавливается путем сравнения их с эталонами шкалы пористости.

Наибольший практический интерес представляют диаграммы состояния двойных систем: алюминий — медь, алюминий — магний, алюминий — цинк и алюминий — кремний.

Система алюминий — медь

Диаграмма состояния системы алюминий — медь представлена на рис. 49; из нее видно, что алюминий способен растворить 5,65% меди при температуре 543° С. При температуре 300° С растворимость меди в твердом растворе снижается до 0,5% и при комнатной температуре — до 0,1%.

Эвтектика системы Al — Cu состоит из кристаллов твердого раствора Al (Cu) и кристаллов химического соединения CuAl₂. Она содержит 33% меди и плавится при температуре 543° С.

Помимо меди, в сплавах системы Al — Cu присутствуют железо и кремний (в виде составных компонентов или неизбежных за-

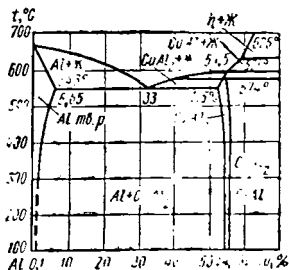


Рис. 49. Диаграмма состояния сплавов алюминий — медь

разнейший). Тогда в структуре сплава при быстром охлаждении (в случае, если $Fe:Si > 1$) появляется фаза в виде так называемых китайских писем, обозначаемая α ($Al \cdot Fe \cdot Si$). В случае, если $Fe:Si < 1$, образуется фаза, обозначаемая $Al \cdot Cu \cdot Fe \cdot Si$. Предполагается, что эта фаза состоит из двух изоморфных химических соединений $FeSiAl_3$ и Cu_2FeAl_7 .

Сплавы на основе системы $Al - Cu$ содержат: 3 — 5% Cu (сплав АЛ7 и АЛ7В) и 9—11% Cu (сплав АЛ19).

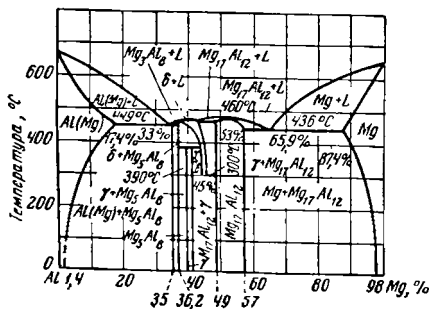
Эти сплавы подвергаются термической обработке, значительно улучшающей (упрочняющей) их механические свойства.

Сплав АЛ7 применяют только в термически обработанном состоянии (по режиму Т4 или Т5 при температуре нагрева перед закалкой $515 \pm 5^\circ C$). Литейные свойства его невысоки. Не рекомендуется для литья в кокиль, вследствие предрасположенности к образованию горячих трещин. Применяется для отливки в землю небольших деталей, работающих в условиях высоких статических и ударных нагрузок.

Система алюминий — магний

Диаграмма состояния системы алюминий — магний представлена на рис. 50.

Из диаграммы следует, что магний способен образовывать с алюми-



нием твердые растворы, распадающиеся при понижении температуры с выделением химического соединения Al_8Mg_{13} .

Как следует из начальной области диаграммы состояния сплавов системы алюминий—магний, магний обладает ограниченной растворимостью в твердом алюминии, резко уменьшающейся с понижением температуры. Так, если предельное со-

Рис 50. Диаграмма состояния сплавов алюминий — магний

держание магния в α -твердом растворе при эвтектической температуре ($449^\circ C$) составляет 17,4%, то при температуре $200^\circ C$ оно уменьшается до 3,1%, а при температуре $100^\circ C$ — до 1,9%.

Увеличение содержания магния в алюминиевомагневых сплавах в области α -твердого раствора сопровождается повышением их

твердости и прочности и снижением пластичности. Однако при появлении в структуре сплавов β -фазы, являющейся твердым раствором на основе интерметаллического соединения Mg_2Al_3 , происходит заметное снижение всех показателей механических свойств сплавов. Этим и объясняется, почему сплав марки АЛ8 (с содержанием магния 9,5—11,5%, являющийся промышленным сплавом на основе алюминия с максимальным содержанием магния, может применяться только в гомогенизированном состоянии, т. е. после термической обработки, фиксирующей структуру α -твердого раствора.

Появление в структуре алюминиевомагневых сплавов соединения Mg_2Al_3 способствует снижению сопротивления коррозии, что зависит не только от количества Mg_2Al_3 , но и от формы его выделения (грубые первичные выделения оказывают более неблагоприятное влияние). Отрицательно влияют на коррозионную стойкость примеси Cu, Fe и Ni, поэтому их содержание в сплаве должно быть строго ограничено.

Увеличение содержания магния способствует повышению растворимости водорода.

С повышением температуры растворимость водорода возрастает у алюминиевомагневых сплавов в большей степени, чем у других сплавов, что является причиной образования в них газовой пористости. При этом происходит увеличение (огрубление) кристаллического зерна и снижение механических свойств.

Сплавы эти отличаются высокой окисляемостью в расплавленном состоянии. Взаимодействие с кислородом приводит к образованию неметаллических включений в отливках. С целью уменьшения окисляемости и повышения механических свойств производится добавка небольших количеств бериллия и титана.

Сплавы хорошо обрабатываются резанием и полируются до металлического блеска.

Система алюминий — цинк

Диаграмма состояния сплавов алюминий — цинк показана на рис. 51. Максимальная растворимость цинка в алюминии при 380 °C составляет 84%, а при 0 °C — 2%.

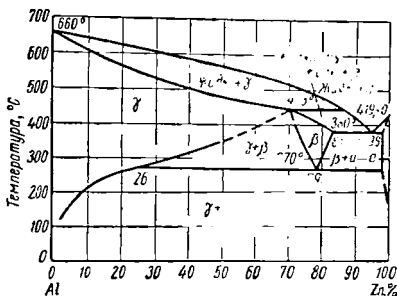


Рис. 51. Диаграмма состояния сплавов алюминий — цинк

Механические свойства алюминиевоцинковых сплавов с повышением температуры резко падают.

Литейные свойства — низкие. Сравнение жидкотекучести различных алюминиевых сплавов показывает, что алюминиевоцинковые сплавы обладают наиболее низкой жидкотекучестью.

Алюминиевоцинковые сплавы предрасположены к образованию холодных и горячих трещин.

Обрабатываемость резанием — удовлетворительная.

Эти сплавы (АЛ11, АЛ16В и др.), вследствие высокого удельного веса, низких литейных свойств и коррозионной стойкости, не получили широкого распространения.

Система алюминий — кремний

Диаграмма состояния системы алюминий — кремний показана на рис. 52.

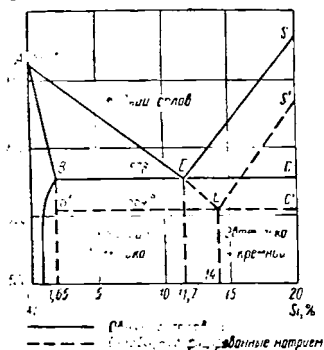


Рис. 52. Диаграмма состояния сплавов алюминий — кремний

Как следует из этой диаграммы, алюминий с кремнием образуют весьма ограниченную область твердых растворов $\text{Al}(\text{Si})$, имеющих кристаллическую решетку алюминия. Максимальная растворимость кремния в алюминии при температуре эвтектики составляет 1,65%, а при 0°C — 0,01%. Эвтектика $[\text{Al}(\text{Si}) + \text{Si}]$ содержит 11,7% Si при температуре 578°C .

В сплавах $\text{Al} - \text{Si}$, не содержащих натрия, кремний кристаллизуется в эвтектике в виде крупных игл и пластин, вызывающих

хрупкость сплава. При введении натрия в количестве 0,01% от веса расплава структура сплава становится мелкозернистой и механические свойства повышаются.

Процесс введения натрия в сплавы называется модифицированием. Применяется металлический натрий или смесь солей, состоящая из 2/3 фтористого натрия и 1/3 хлористого натрия в количестве 2% от веса расплава.

Кремний входит в состав многих литейных алюминиевых сплавов (за исключением АЛ1, АЛ7, АЛ7В, АЛ8, АЛ21, АЛ27 и др.).

Алюминийкремниевые сплавы, благодаря их высокой жидкотекучести, коррозионной стойкости, высоким механическим свойствам и хорошей обрабатываемости, нашли широкое промышленное применение.

§ 2. ШИХТОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИХ ПОДГОТОВКА К ПЛАВКЕ

В качестве исходных шихтовых материалов применяются: первичные (чистые), вторичные металлы и сплавы, отходы собственного производства и лигатуры.

Вторичные металлы и сплавы отличаются от первичных повышенным содержанием вредных примесей и газов.

Первичный алюминий поставляется по ГОСТ 11069—64, его химический состав приведен в табл. 31.

Наиболее чистые и дорогие марки алюминия применяются при производстве изделий особо ответственного назначения (корпусных деталей специального назначения, деталей электронной и ракетной техники, специальной химической аппаратуры и пр.).

В производстве чаще применяется алюминий нормальной технической чистоты марок А6, А5, А0 и А.

Таблица 31

Химический состав, %
(ГОСТ 11069—64)

Марка алюминия	Алюминий, не менее	Примеси, не более					
		железо	кремний	медь	цинк	титан	марганец
А 999	99,999	—	—	<i>Особой чистоты</i>		—	0,001
				—	—		
А 995	99,995	0,0015	0,0015	<i>Высокой чистоты</i>		0,001	0,002
				0,001	0,001		
				0,003	0,003		
				0,015	0,005		
А 99	99,99	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,003
А 97	99,97	0,015	0,015	0,005	0,004	0,002	0,003
А 95	99,95	0,030	0,030	0,010	0,005	0,002	0,003
А 85	99,8	0,08	0,06	<i>Технической чистоты</i>		0,01	0,01
				0,01	0,01		
				0,01	0,04		
				0,01	0,05		
				0,01	0,01		
				0,02	0,01		
				0,02	0,01		
				0,02	0,01		
А 8	99,80	0,12	0,10	0,01	0,04	0,02	0,02
А 7	99,70	0,16	0,16	0,01	0,05	0,02	0,02
А 6	99,60	0,25	0,20	0,01	0,01	0,02	0,02
А 5	99,50	0,30	0,20	0,02	0,01	0,02	0,02
А 0	99,00	0,50	0,50	0,02	0,01	0,02	0,02
А	99,00	0,80	0,50	0,02	0,01	0,02	0,02
АЕ	99,50	0,35	0,12	0,02	—	0,01	—

* Железа — не менее 0,18%.

** Для суммы металлов Ti, V и Mn — 0,01%.

Примечания

1. Содержание натрия в алюминии всех марок, высшего и технического, в любом случае систематически определяется заводом-изготовителем методом фотометрического анализа.
2. В алюминии технической чистоты всех марок допускается содержание марганца, а также содержание марганца не более 0,01%, а также содержание марганца не более 0,01%.

Вторичные алюминиевые сплавы получают переплавкой и рафинированием лома и отходов различных алюминиевых сплавов. Они поставляются в виде чушек различных марок по ГОСТ 1583—63, применяемых в ограниченных количествах при составлении шихты (табл. 32).

Перед плавкой все шихтовые материалы тщательно подготавливаются, так как качество литья в большой степени зависит от тщательности подготовки и хранения шихтовых материалов. Отходы собственного производства (оборотные отходы: литники, прибыли выпоры), образующиеся в литейных цехах, отсортированные строго по маркам сплавов, предварительно очищаются в барабане и используются в количестве до 30—35 % от веса шихты.

Мелкие отходы и стружка брикетируются на специальных брикетировочных прессах.

Чушки переплава, полученного из стружки собственного производства соответствующего химического состава, расходуются в количестве до 10—15 % от веса шихты.

Категорически запрещается применять в шихте материалы, загрязненные маслом, нефтью, мазутом, землей, а также влажные или покрытые снегом или льдом.

Все шихтовые материалы и лигатуры должны храниться в сухих крытых помещениях.

Цинк является легирующим элементом и его химический состав должен отвечать требованиям ГОСТ 3640—65 (табл. 33).

Таблица 33

Химический состав цинка

Марка цинка	Содержание цинка, % не менее	Содержание примесей, %, не более					
		свинец	железо	кадмий	медь	олово	всего примесей
ЦВ4	99,997	0,00001	0,00001	0,002	0,00001	0,00001	0,003
ЦВ	99,99	0,005	0,003	0,002	0,001	0,001	0,010
Ц0	99,975	0,015	0,007	0,010	0,001	0,001	0,025
Ц1	99,95	0,02	0,015	0,014	0,002	0,001	0,050
Ц2	98,7	1,0	0,05	0,20	0,005	0,002	1,3
Ц3	97,5	2,0	0,10	0,20	0,05	0,005	2,5

При приготовлении алюминиевых сплавов применяется цинк марок Ц1 и Ц2.

Магний входит в состав алюминиевых сплавов в пределах до 12% (АЛ8, АЛ22 (В11-11-3) и др.). Удельный вес магния— $1,74 \text{ г/см}^3$ ($17,15 \text{ км/м}^3$), температура плавления — 651°С . Поставляется в форме чушек весом $2,5 \pm 0,2$ и $8 \pm 1 \text{ кг}$.

Ввиду большой склонности к коррозии, поверхность чушек на заводе-изготовителе подвергается антикоррозионной обработке.

Химический состав первичного магния должен соответствовать требованиям ГОСТ 804—62 (табл. 34).

Таблица 34

Химический состав магния

Марка магния	Магний %, не менее	Примеси, %, не более								всего примесей
		железо	кремний	алюминий	хлор	натрий	калий	медь	никель	
Mg1	99,92	0,04	0,01	0,02	0,005	0,01	0,005	0,01	0,001	0,08
Mg2	99,85	0,05	0,03	0,05	0,005	0,02	0,005	0,02	0,002	0,15

Кремний вводится в алюминиевые сплавы в виде чушкового силумина или кристаллического кремния.

Химический состав чушкового силумина должен соответствовать требованиям ГОСТ 1521—50 (табл. 35), а кристаллического кремния — требованиям ГОСТ 2169—43 с изменениями, принятыми в 1963 г.

Таблица 35

Марки и химический состав чушкового силумина

Марка силумина	Химический состав, % (остальное алюминий)						
	кремний	примеси, %, не более					марганец
		железо	кальций	медь	цинк	титан	
Сил 0	10 — 13	0,35	0,1	0,15		0,1	0,1
Сил 1	10 — 13	0,50	0,1	0,15		0,15	0,5
Сил 2	10 — 13	0,7	0,2	0,20		0,2	0,5

Марганец вводится в алюминиевые сплавы в виде лигатуры алюминий — марганец, содержащей около 10% марганца. Металлический марганец, химический состав которого приводится в табл. 36 поставляется по ГОСТ 6008—51 с изменениями, принятыми в 1965 г.

Для алюминиевых сплавов используется марганец марок Мр1, Мр2 и Мр3.

Марки и химический состав металлического марганца

Марка марганца	Марганец, %, не менее	Примеси, %, не более							
		кремний	фосфор	алюминий	железо	медь	углерод	сера	всего примесей
Мр00	99,95	—	0,005	—	—	—	0,02	0,01	0,05
Мр0	99,70	—	0,01	—	—	—	0,10	0,10	0,30
Мр1	95,0	0,8	0,05	—	2,5	—	0,10	—	5,0
Мр2	93,0	1,8	0,07	—	3,0	—	0,20	—	7,0
Мр3	91,0	3,5	0,45	1,0	2,0	2,5	0,12	—	9,0
Мр4	88,0	4,0	0,50	1,5	3,0	4,0	0,15	—	12,0

Для хранения шихтовых материалов должен быть предусмотрен склад с достаточным количеством ларей и ящиков для раздельного хранения шихтовых материалов по маркам.

Неправильное хранение шихтовых материалов увеличивает потери цветных металлов и сплавов, вследствие коррозионного разрушения и повышенного угара при переплаве. Свежие металлы, лигатуры, ферросплавы и готовые сплавы различных марок, получаемые извне, рекомендуется хранить раздельно по сортам или партиями в соответствии с сертификатами.

§ 3. ПРИГОТОВЛЕНИЕ ЛИГАТУР И ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ СПЛАВОВ

Приготовление лигатур

При приготовлении алюминиевых сплавов широко применяются лигатуры, т. е. сплавы, содержащие два или несколько элементов, температура плавления которых ниже температуры плавления каждого из тугоплавких элементов, входящих в данный сплав. Применяются лигатуры, содержащие такие тугоплавкие элементы, как медь, никель, кремний, марганец, титан и др., температура плавления которых выше температуры плавления основного элемента сплава — алюминия. Используемые при приготовлении алюминиевых сплавов лигатуры должны иметь температуру плавления, близкую к температуре плавления алюминия.

Так, например, температура плавления основного элемента алюминия равна 658°C , а лигатуры алюминий — кремний — около 640°C , тогда как кристаллический кремний, входящий в состав лигатуры, плавится при температуре 1427°C . Лигатуры применяются и в тех случаях, когда сплав содержит такие легкоокисляющиеся элементы, как магний. Введение таких элементов непосредственно в сплав не обеспечивает точного содержания заданного элемента в

сплаве, так как угар его в каждом отдельном случае может быть большим или меньшим, а химический состав сплава — неодинаковым.

Применение в этом случае алюминиевомагниево-бериллиевой лигатуры позволяет получать сплав с точным, заранее рассчитанным содержанием магния.

Химический состав и температура плавления лигатур, наиболее часто употребляемых при приготовлении алюминиевых сплавов, приведены в табл. 37.

Таблица 37

Химический состав и температура плавления лигатур

Наименование лигатуры	Содержание основных элементов, %	Примерные температуры плавления, °C
Алюминиевокремнистая (Al — Si)	Al = 85 — 88, Si = 12 — 15	620 — 660
Алюминиевомедная (Al — Cu)	Al = 50 — 55, Cu = 40 — 50	570 — 600
Алюминиевомагниево-бериллиевая (Al — Mg)	Al = 89 — 91, Mg = 9 — 11	560 — 640
Алюминиевожелезистая (Al — Mn)	Al = 89 — 91, Mn = 9 — 11	770 — 830
Алюминиевобериллиевая (Al — Be)	Al = 97 — 95, Be = 3 — 5	700 — 800
Алюминиевоникелевая (Al — Ni)	Al = 89 — 91, Ni = 9 — 11	680 — 730
Алюминиевожелезная (Al — Fe)	Al = 89 — 91, Fe = 9 — 11	800 — 850
Алюминиевотитановая (Al — Ti)	Al = 97 — 95, Ti = 3 — 5	680 — 720

К лигатурам предъявляются следующие основные требования:

- 1) низкая температура плавления;
- 2) однородность по химическому составу;
- 3) возможно более высокое содержание тугоплавкого элемента;
- 4) достаточная хрупкость для удобства дробления при взвешивании шихты.

Ниже приводятся некоторые примеры приготовления алюминиевых лигатур.

Плавка и разливка лигатуры алюминий — бериллий, содержащей 5% бериллия. Исходные материалы: алюминий чушковой 95%, бериллий металлический 5%; флюс: хлористый барий 60%, хлористый калий 40%.

Приготовление лигатуры производится при высокой температуре (1100—1200° C), поэтому для предотвращения окисления бериллия и алюминия должен быть применен покровный флюс, состоящий из смеси солей хлористого бария и хлористого калия. Перед употреблением соли должны быть тщательно перемешаны и сплавлены. Полученный кусковой флюс должен быть растолчен в порошок.

Приготовление лигатуры рекомендуется производить в высокочастотных электрических печах, в которых лигатура получается менее газонасыщенной, а угар бериллия — меньший.

В случае отсутствия высокочастотных печей плавка может производиться в газовых или нефтяных горнах в графитовых тиглях.

Процесс плавки ведется следующим образом. Вначале загружают чушки алюминия в количестве $2/3$ от веса шихты, затем после расплавления поверхность металла посыпают флюсом и температура поднимается до $1100-1200^{\circ}\text{C}$.

По достижении указанной температуры можно вводить небольшими порциями размельченный на мелкие куски (диаметром $10-20\text{ мм}$) металлический бериллий.

После введения первой порции бериллия поверхность металла снова присыпают флюсом и производят замешивание всплывающих на поверхность кусков бериллия в ванну металла.

Замешивание производят графитовой мешалкой во избежание насыщения сплава железом, которое при высокой температуре легко растворяется в сплаве.

После полного растворения бериллия добавляют остальную часть алюминия, сплав перемешивают и снимают шлак.

Готовую лигатуру разливают в мелкие изложницы, предварительно подогретые до $150-200^{\circ}\text{C}$.

Каждая плавка подвергается анализу на содержание в лигатуре бериллия.

Плавка и разливка лигатуры алюминий—титан, содержащей 5% титана. При расчете шихты руководствуются следующими соотношениями:

вес. ч.

Алюминий .	100
Окись титана	15
Криолит .	15

Окись титана и криолит в отдельности просушивают для удаления влаги, после чего тщательно перемешивают путем перелопачивания и просеивания через сито. Полученная порошкообразная смесь должна быть совершенно однородной и не содержать комков или каких-нибудь посторонних загрязнений. Плавку ведут при температурах выше 1000°C . Поэтому наиболее удобной печью является газовый, нефтяной или коксовый горн, легко обеспечивающий нужную температуру. Необходимо наличие хорошей вытяжки, ввиду большого количества вредных газов, выделяющихся в процессе плавки. Алюминий загружают в хорошо обожженный графитовый тигель. После расплавления алюминия поверхность последнего покрывают сухим криолитом и металл перегревают до $1000-1200^{\circ}\text{C}$. Берется проба на достаточность перегрева металла.

Графитовой или угольной мешалкой (во избежание насыщения лигатуры железом) отводят слой криолита и на обнаженную поверхность металла с помощью совка забрасывают небольшое количество смеси окиси титана с криолитом.

Если при этом вспыхивает желтое пламя и начинается термитная реакция, сопровождающаяся ярким светом и выделением гус-

того белого дыма, то это указывает на достаточность температуры металла для введения всего количества шихты в ванну.

При отсутствии или слабом выявлении этих признаков металл подогревают и проба повторяется.

По достижении необходимой температуры алюминия горн выключают, засыпают мелкими порциями окись титана с криолитом при энергичном помешивании, заранее прогретой графитовой или угольной мешалкой, двигая ею сверху вниз и погружая окись титана с криолитом под поверхность металла. По окончании введения шихты металл покрывают толстым слоем шлака, состоящего, главным образом, из смеси окиси алюминия, образовавшейся при реакции с криолитом, и непрореагировавшей окисью титана. При правильном ведении процесса температура металла в тигле, несмотря на выключенный горн, не должна падать, а наоборот — заметно повышаться.

Когда введение смеси в расплав окончено, на 10—15 мин включают горн для выделения образовавшихся газов. Тигель извлекают из печи, быстро и энергично перемешивают всю плавку при помощи железной мешалки, чтобы поднять осевшие на дно кристаллы, богатые титаном, и сразу же разливают лигатуру по изложницам, придерживая шлак ложкой или скребком. Во избежание ликвации титана, лигатура разливается в тонкие чушки (не толще 30 мм), что облегчает навеску шихты. Необходимо избегать промедления после выемки тигля из горна, так как лигатура остывает очень быстро, причем богатые титаном кристаллы образуют кашеобразный осадок на тигле, а в изложницы попадает почти чистый алюминий. Хорошо подготовленная лигатура даже при очень высокой температуре является густотекучей и с трудом заполняет формы. Цвет жидкого металла должен соответствовать высокой температуре, т. е. быть желтым или оранжевым.

Если лигатура льется очень легко и имеет оттенки ртути, свойственные жидкому алюминию при низкой температуре, то это указывает на ведение процесса при слишком низкой температуре, а поэтому титана в сплаве имеется мало.

Поверхность затвердевших чушек лигатуры не должна иметь усадочных раковин, а наоборот, должна быть выпуклой и иметь радужные цвета побежалости. Излом лигатуры должен быть крупнозернистым с блестками чешуйчатых кристаллов химического соединения алюминия с титаном.

Появление выпотевания легкоплавкой фазы на поверхности чушек в виде наростов указывает на недостаточный подогрев изложниц перед литьем.

Плавка и разливка лигатуры алюминий — кремний, содержащей 12—15% кремния. В качестве шихтовых материалов применяется алюминий марок А6, А7, А0 и А (ГОСТ 11069—64) и кристаллический кремний марок: Кр¹⁰ и Кр¹¹ (ГОСТ 2169—43).

Все шихтовые материалы перед загрузкой в печь нагревают до температуры 100—150 °С

После расплавления алюминия ванну подогревают до температуры 850—900 °С и в несколько приемов вводят кристаллический кремний в виде размельченных кусков размером не более 20—40 мм в поперечнике.

Для предотвращения обволакивания кусков кремния пленкой окиси алюминия рекомендуется предварительно завернуть их в алюминиевую фольгу или смочить раствором хлористого цинка и затем подсушить. Кремний растворяют отдельными небольшими порциями, тщательно перемешивают и после растворения последней порции, сплав рафинируют и разливают по изложницам. Разливку лигатуры ведут короткой, широкой струей, не допуская перерыва и разбрызгивания металла.

Лигатура алюминий — кремний хрупка и легко дробится

После выбивки всю лигатуру собирают в отдельный ларь или ящик и употребляют только после получения химического анализа.

Приготовление предварительного чушкового сплава

Предварительный чушковой сплав применяется при плавке алюминиевых сплавов в тех случаях, когда требуется получение высококачественного рабочего сплава стабильного химического состава.

По наружному виду чушки предварительного сплава должны иметь чистую и светлую поверхность, а излом — мелкозернистый, без флюсовых и шлаковых включений.

Для получения, например, сплава АЛ22 (ВИ-11-3) более определенного химического состава, предназначенного для отливки деталей, требующих высокой коррозионной стойкости и высокой механической прочности при нормальных и повышенных температурах, применяется хорошо дегазированный предварительный сплав.

Плавку ведут в электрических, нефтяных и газовых печах при условии полной изоляции зеркала жидкого металла от топочных газов. Тигли рекомендуются графитовые. В случае применения чушковых тиглей последние должны быть тщательно просушены и покрыты слоем обычной обмазки (мел с жидким стеклом и водой).

Процесс плавки ведут в следующем порядке. В разогретый до красна тигель загружают чушковой алюминий, сидумин и лигатуру алюминий — бериллий и алюминий — титан. После их расплавления температуру металла повышают до 700° С и вводят магний. Затем сплав тщательно перемешивают, рафинируют и разливают в подогретые изложницы.

Каждая плавка подвергается химическому анализу на содержание магния, кремния, бериллия и титана.

При плавке и разливке предварительного сплава необходимо:
а) избегать перегрева сплава выше 750° С и держать температуру как можно ближе к температуре заливки деталей;

б) процесс плавки вести максимально форсированно во избежание насыщения металла газами.

Приготовление сплава АЛ8 (магналия) для деталей ответственного назначения рекомендуется вести в две стадии: сначала готовят чушковой предварительный сплав, затем рабочий сплав. Отливка деталей производится из рабочего сплава.

Такой порядок приготовления обеспечивает наибольшую надежность получения отливок высокого качества и надлежащего химического состава.

Для приготовления чушкового предварительного сплава АЛ8 применяют шихту следующего состава:

	%
Чушковой алюминий марки А0 по ГОСТ 11069-44 . . .	6,3
Магний металлический марок Мг1 или Мг2 по ГОСТ 804-56	39,6
Возвраты своего производства (очищенные бракованные детали, литники, прибыли)	54,0
Двуокись титана	0,1
Итого	100,0

Очищенные от песка возвраты вводят в шихту в количестве, необходимом для получения заданного химического состава, но не свыше 50 — 55% общего веса шихты.

Состав флюсов:

	%
Карналлит обезвоженный	4,5
Пластиковый шпат	0,5
Криолит обезвоженный	0,01

Допускается также к использованию флюс «Гидрозаль», состоящий из 60% безводного карналлита, 25% плавикового шпата и 15% шлама из электролизной магниевой ванны. В качестве защитного покрытия рекомендуется флюс, состоящий из 95% обезвоженного карналлита и 5% плавикового шпата.

Все флюсы применяют в сухом виде и хранят в герметически закрытой таре.

Для приготовления сплава АЛ13 применяют следующую шихту:

	%
Силулин марок СИЛО, СИЛ1 по ГОСТ 1521-50	2,8
Магний металлический марок М1 или М2 по ГОСТ 804-56	3,2
Марганец металлический марок Мр1, Мр2 по ГОСТ 6008-51	0,4
Алюминий марок АЛО, А, А1 по ГОСТ 11069-64	39,6
Возвраты производства (очищенные бракованные детали, литники, прибыли)	54,0
Итого	100,0

Состав флюсов:

	%
Хлористый цинк для рафинирования	0,2
Приготовленный флюс, состоящий из обезвоженного карналлита	75
» » фтористого калия	25
Солнкамский карналлит следующего состава:	
MgCl	39
NaCl	6
CaCl	17
KCl	38

Последний загружают в железный короб (до 1/2 высоты) и просушивают в сушильной камере при температуре не более 100°C. В течение 2 часов поднимают температуру до 150 — 180°C и выдерживают при этой температуре 48 часов. Во время сушки периодически перемешивают через каждые 3 — 4 часа, а по окончании производят переплавку. Плавку карналлита ведут в нефтяном горне с вытяжной вентиляцией в графитовом или чугунном тигле с разливкой в металлические изложницы. После охлаждения карналлит измельчают и просеивают через мелкие сита. Просеянный карналлит смешивают в требуемой пропорции с измельченным и просеянным через сито фтористым кальцием. Все флюсы применяют в сухом виде и хранят в герметически закрытой таре. Тигли применяют чугунные и стальные, выдерживающие при нормальном ходе плавки от 25 до 50 плавов.

При плавке алюминиевомагневых сплавов АЛ8 и АЛ13 используется также предварительный сплав, обработанный фторцирконатом калия (K_2ZrF_6) в сочетании с продувкой азотом.

При работе с промежуточным сплавом суммарный расход фторцирконата калия несколько увеличивается (на 10 — 15% против нормы 1% от веса шихты из свежих материалов).

Если предварительный сплав был хорошо обработан фторцирконатом калия и не окислен от длительного нахождения в цехе, то расходование добавочного количества фторцирконата калия не вызывается необходимостью, что практически проверяется по отсутствию реакции взаимодействия алюминия с фторцирконатом калия и появлению на поверхности выплесков металла.

После засыпки фторцирконата калия производится «рубка», т. е. разбивка его на куски, замешиваемые в алюминии.

По окончании реакции взаимодействия алюминия с фторцирконатом калия, когда на поверхности металла появлялись продукты реакции (шлак), которые собирались в виде отдельных островков, обнажая зеркало ванны, засыпали покровный флюс и плавку вели, как обычно.

Использование в составе шихты предварительного чушкового сплава АЛ8 и АЛ13 способствовало ликвидации газовой пористости

в отливках на обрабатываемых и необрабатываемых поверхностях и получению сплава строго заданного химического состава.

§ 4. РАСЧЕТ ШИХТЫ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Для расчета шихты необходимо знать химический состав исходных шихтовых материалов приготовляемого сплава и угар элементов, зависящий от состояния шихты, типа и конструкции плавильной печи, способа ведения процесса плавки, рафинирования и пр.

К потерям на химический угар относятся потери от испарения, взаимодействия металла с печной атмосферой (что приводит к образованию окислов, переходящих в шлак) и взаимодействия металла с футеровкой печи. Величина этих потерь зависит от степени окисляемости и удельного веса металла, типа плавильных печей, состояния (компактности) шихты, вида сплавов, режима плавки, покровного флюса и пр.

Чем более форсированно ведется плавка, тем ниже степень окисляемости и меньше угар сплава.

При расчете шихты угар сплава берется в зависимости от вида сплава (по каждому компоненту) и от типа плавильной печи.

В отдельных случаях потери на угар принимаются не по всем компонентам сплава, а лишь по одному из наиболее угораемых.

Угар остальных компонентов компенсируется тем, что их содержание в сплаве в этом случае принимается по верхнему пределу норм ГОСТа.

Приблизительная величина угара при плавке алюминиевых сплавов может быть принята по данным А. М. Липницкого, приведенным в табл. 38.

Таблица 38

Угар некоторых элементов в зависимости от состояния шихты и типа плавильной печи, %

Металл	Чистая шихта		Окисленная и загрязненная шихта	
	плавка в электрических и тигельных печах	плавка в пламенных печах	плавка в электрических и тигельных печах	плавка в пламенных печах
Магний	2—3	3—5	3—5	3—10
Бериллий	2—3	3—5	3—5	5—10
Алюминий	1,0—1,5	1—2	1—2	2—3
Натрий	2—3	3—5	3—5	5—10
Цинк	1—3	2—4	2—3	3—5
Марганец	0,5—1	1—2	1—2	2—3
Олово	0,5—1	1,0—1,5	1,0—1,5	1,5—2
Железо	0,5—1	0,5—1	0,5—1	0,5—1
Никель	0,5—1	0,5—1	0,5—1	0,5—1
Кремний	0,5—1	1,0—1,5	1,0—1,5	1,5—2
Медь	0,5—1	1—2	1—2	2—3

Ниже приведен пример упрощенного расчета шихты алюминиево-магниевого сплава АЛ13 при плавке в тигельной печи.

Принимаем следующие шихтовые материалы:

1) алюминий чушковой первичный марок АЛ5 или АЛ0 (ГОСТ 11069 — 64);

2) силумин чушковой марок СИЛ0, СИЛ1 (ГОСТ 1521 — 50);

3) магний металлический марок Мг1 или Мг2 (ГОСТ 804 — 50) или алюминиево-магниева лигатура с содержанием 10% Mg;

4) марганец металлический марок Мр1 или Мр2 (ГОСТ 6008 — 51) или алюминий-марганцевая лигатура с содержанием 10% Mn.

Средний химический состав сплава АЛ13 (ГОСТ 2685 — 60): Mg = 4,5 — 5,5%; Si = 0,8 — 1,3%; Mn = 0,1 — 0,4%, остальное алюминий. Допустимое содержание учитываемых примесей при литье в землю — 0,6%, железа — не более 0,5%.

Расчет ведем на 100 кг сплава. По табл. 38 принимаем угар: алюминия — 1,5%, магния — 3%, марганца — 1% и кремния — 1%.

Количество шихтовых материалов, которое нужно увеличить для компенсации угара отдельных элементов, составит:

$$\text{Магния} \quad \frac{5 \cdot 3}{100} = 0,15 \text{ кг.}$$

$$\text{Марганца} \quad \frac{0,3 \cdot 1}{100} = 0,003 \text{ кг,}$$

$$\text{Кремния} \quad \frac{1,1 \cdot 1}{100} = 0,011 \text{ кг,}$$

$$\text{Алюминия} \quad \frac{93,6 \cdot 1,5}{100} = 1,404 \text{ кг.}$$

Таким образом, полученные расчетные данные можно представить в следующем виде:

Средний химический	Mg	Mn	Si	Al	Всего
состав шихты, %	5	0,3	1,1	93,6	100
Вес на 100 кг шихты, кг	5	0,3	1,1	93,6	100
Угар, %	3	1	1	1,5	—
То же, кг	0,15	0,003	0,011	1,404	1,568
Расчетный состав шихты, кг	5,15	0,303	1,111	95,004	101,568

Определим необходимое количество чушкового силумина и алюминий-марганцевой лигатуры.

Силумина следует ввести:

$$\frac{1,111 \cdot 100}{13} \cong 8,55 \text{ кг.}$$

Содержание алюминия в силумине:

$$8,55 - 1,111 = 7,439 \text{ кг.}$$

Алюминиевомагниевой лигатуры следует ввести:

$$\frac{5,15 \cdot 100}{10} = 51,5 \text{ кг.}$$

Содержание алюминия в лигатуре:

$$51,5 - 5,15 = 46,35 \text{ кг.}$$

Алюминиевомарганцевой лигатуры следует ввести:

$$\frac{0,303 \cdot 100}{100} = 3,03 \text{ кг.}$$

Содержание алюминия в лигатуре:

$$3,03 - 0,303 = 2,727 \text{ кг.}$$

Количество чушкового алюминия, которое необходимо ввести в шихту, составят:

$$95,004 - (7,439 + 46,35 + 2,727) = 38,488 \text{ кг.}$$

Таким образом, для выплавки 100 кг сплава АЛ13 потребуется следующее количество исходных шихтовых материалов, кг:

Чушковый алюминий	38,488
Силумин	8,55
Алюминиевомагниевой лигатуры	51,5
Алюминиевомарганцевой лигатуры	3,03
Всего	101,568

Проверим также содержание вредных примесей в сплаве, вносимых исходными шихтовыми материалами и, в частности, железа, допустимое количество которого при литье в землю не должно превышать 0,5%.

По сертификатам содержание железа в этих материалах составляет:

	%
В чушковом алюминии	0,5
В силумине	0,5
В лигатуре (Al—Mg)	0,1
В лигатуре (Al—Mn)	2,5

Отсюда, определяем количество железа (κ_2), вносимого в сплав этими материалами:

Чушковым алюминием	38,488·0,005· 0,192
Силумином	8,55·0,005=0,043
Алюминиевомагниевого лигатурой	51,5·0,001 $\approx$ 0,052
Алюминиевомарганцевой лигатурой	3,03·0,025 $\approx$ 0,076
Всего	0,263

или около 0,3%, т. е. не превышает содержания, и предусмотренного ГОСТом.

§ 5. ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПЛАВКИ И РАЗЛИВКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Основные технологические положения плавки алюминиевых сплавов примерно одинаковы и имеют общий характер для большинства сплавов вне зависимости от типа и конструкции печи.

Исключение составляют алюминевомагниевого сплавы марок АЛ8, АЛ13 и др., а также новые высокопрочные, жаропрочные и коррозионно-стойкие сплавы марок В300, В14А, АЛ19, АЛ10В, АЛ22 (ВИ-11-3) и др., требующие особо тщательного ведения процесса плавки и разлива сплава и методов его дегазации и рафинирования. Порядок загрузки составных частей шихты примерно следующий. Сначала загружается первичный алюминий, а после его расплавления — входящие в состав шихты оборотные отходы и чушки переплава стружки (в ограниченном количестве), силумин, лигатуры; затем, после тщательного перемешивания — легко выгорающие элементы (цинк, магний и др.).

В случае использования до 100% предварительного сплава производится необходимая подшихтовка для корректирования химического состава шихты, далее — расплавление, перемешивание, дегазация, рафинирование, доводка до заданной температуры, съем шлаков и разлива сплава по формам или изложницам.

П л а в к а и р а з л и в к а с и л у м и н а — с п л а в а АЛ2. Плавку силумина марки АЛ2 рекомендуется производить в электропечах сопротивления и индукционных печах, а при отсутствии их — в тигельных горнах и тигельных печах типа «Костман».

В качестве шихтовых материалов применяют:

- силумин в чушках марок СИЛ10 и СИЛ1 (ГОСТ 1521 — 50);
- алюминий первичных марок А1 и А2 (ГОСТ 3549 — 55);
- лигатуру алюминий — кремний, с содержанием кремния 12 — 15%;
- оборотные отходы (предварительно очищенные) — до 35 — 50% от веса шихты;
- чушки переплава, полученного из стружки собственного производства, проверенного химического анализа — до 15% от веса шихты.

Все шихтовые материалы должны храниться в сухих помещениях. Категорически запрещается применять в шихту материалы, загрязненные маслом, нефтью, мазутом или землей, а также влажные или покрытые снегом и льдом.

Все шихтовые материалы перед введением в расплавленный металл подогревают до температуры 100 — 150°С.

Расчет шихты ведут на 12,5% кремния. После первых плавов расчет шихты корректируется.

Плавку силумина рекомендуется вести на чушках готового силумина, а при отсутствии его — с применением лигатуры алюминий—кремний.

Приготовление сплава АЛ2 с применением кристаллического кремния не разрешается.

Если в состав предыдущей плавки входят элементы, вредные для силумина, рекомендуется провести промывную плавку вторичного алюминия или силумина для заливки неотчетственных деталей.

Технологические процессы приготовления сплава АЛ2 во всех плавильных агрегатах одинаковы, кроме процесса модификации. В качестве примера приводится плавка в тигельном горне. Перед плавкой горны осматривают и при необходимости ремонтируют. Плавку ведут только в исправных, нормально работающих горнах. При плавке в горне рекомендуется изолировать сплав от воздействия отходящих газов — для чего устанавливают крышку горна с круглым вырезом по диаметру тигля так, чтобы края тигля выступали на 10 — 20 мм выше крышки.

Тщательно просушенный и прокаленный тигель перед загрузкой шихты нагревают до температуры 600 — 700°С. Затем в тигель загружают входящие в состав шихты оборотные отходы и чушки переплава стружки. После расплавления оборотных отходов и чушек переплава стружки загружают чушки паспортного силумина или алюминия (при плавке на лигатуре). После расплавления алюминия загружают лигатуру алюминий — кремний и металл тщательно перемешивают.

Температуру сплава доводят до 680 — 700°С. Далее сплав рафинируют сухим хлористым цинком из расчета 0,1% от веса шихты с помощью «колокольчика», который медленно погружают с навеской хлористого цинка на дно тигля. «Колокольчик» медленно водят по дну тигля до окончания выделения пузырьков газа. Хлористый цинк, предназначенный для рафинирования сплава, необходимо переплавить и хранить в эксикаторе соответствующими навесками, завернутыми в алюминиевую фольгу. Введение влажного хлористого цинка в металл — строго запрещено. В случае раздачи металла для литья в кокиль или литья под давлением необходимо довести температуру сплава до указанной в технологической карте.

Затем с поверхности сплава снимают шлак и приступают к разливке.

В случае литья в землю, сплав после рафинирования хлористым цинком нагревают до температуры 800 — 820 °С, снимают шлак и приступают к модифицированию его солями или металлическим натрием. Рафинирование хлоридами после модифицирования не допускается, так как при этом из сплава удаляется натрий и пропадает эффект модифицирования.

Модифицирование солями. С помощью железного совка на очищенную поверхность сплава равномерным слоем насыпают механическую смесь тонко измельченных солей: 1/3 NaCl + 2/3 NaF (двойной модификатор: 33% NaCl и 67% NaF, или тройной модификатор: 62,5% NaCl, 12,5% KCl и 25% NaF), в количестве 2% от веса металла.

Перед употреблением смесь солей должна быть просушена при температуре 100 — 150 °С и выдержана при этой температуре не менее 3 часов.

Модифицирование сплава солями производится при температуре 780 — 820 °С. Сплав выдерживают под слоем модификатора в течение 12 — 14 мин. Для уменьшения потерь тепла от излучения тигель при модифицировании закрывают железной крышкой с асбестовой прокладкой. Затем производят «рубку» солей в течение 2 мин, счистку модификатора с поверхности сплава и выдачу его на разливку.

Время от момента конца модифицирования до начала заливки — не должно превышать 15 мин.

Модифицирование металлическим натрием. С помощью «колокольчика» при температуре 750 — 780 °С вводят в сплав металлический натрий в количестве 0,05 — 0,08% от веса шихты.

При введении натрия в сплав «колокольчик» погружают на дно тигля и медленно водят им до прекращения появления на поверхности сплава белых огоньков (результаты выгорания натрия).

Натрий перед введением в сплав очищают, просушивают фильтровальной бумагой и завертывают в алюминиевую фольгу.

По истечении 10 — 15 мин после введения натрия в сплав «колокольчик» извлекают, снимают шлак и без перемешивания приступают к разливке.

Разливку силумина АЛ2 производят при температуре, указанной в технологической карте.

Охлаждение модифицированного сплава перемешиванием или погружением чушек сплава того же состава — не разрешается.

Заливку форм производят ровной и спокойной струей при заполненном стояке или литниковой чаше.

Ответственные детали из сплава АЛ2 рекомендуется отливать в автоклавах под воздушным давлением, по методу А. А. Бочвара и А. Г. Сласского.

Для удаления плен с чугунных тиглей М. П. Купцовым рекомендуется применять присыпки сухого тройного модификатора, состоящего из 62% NaCl, 25% NaF и 13% KCl, толщиной 0,5 мм.

Окраску тиглей производят следующим составом: 4 г тройного модификатора, просеянного через сито 0,5 мм, 1 г речного песка и 10 — 12 г воды. Краску наносят кистью на разогретый до 100 — 300°C тигель слоем, средняя толщина которого 1 мм. При соприкосновении с жидким металлом этот слой краски превращается в прочную корку, хорошо изолирующую его от стенок тигля. Преимущества этой краски перед покрытием на основе очищенной глины, графита и жидкого стекла заключаются в том, что краска хорошо ложится на стенку тигля и прочно сцепляется с ней после прокаливания, обладает хорошей теплопроводностью, позволяет производить ремонт (покраску) тиглей на горячем ходу.

Внедрение новой краски способствует увеличению срока службы тиглей более чем в 2 раза и значительному снижению содержания железа в выплавляемых сплавах.

Плавка и разливка сплава АЛ8. В качестве шихтовых материалов могут применяться:

- а) чушковой алюминий марок А00 и А0 (ГОСТ 3549 — 50);
- б) чушковой магний марок Мг1 и Мг2 (ГОСТ 804 — 56);
- в) возврат и отходы собственного производства — брак, литники, прибылки — в количестве до 30 — 50 % от веса шихты (обработанные очистными средствами).

Все шихтовые материалы должны быть проверенного химического состава.

Расчетное содержание магния в составе шихты — 11,5%.

После первых плавов расчет шихты корректируется.

Перед загрузкой тигель (печь) тщательно очищают от окислов, шлака и остатков металла предыдущей плавки и нагревают до температуры вишнево-красного каления 600 — 700° С.

В разогретый тигель (печь) загружают чушковой алюминий, расплавляют и доводят до температуры 780 — 800°C, после чего тщательно размешивают, снимают шлак и на поверхность зеркала ванны равномерным слоем засыпают фторцирконат калия в количестве 1% от веса шихты их свежих металлов.

«Рубка» фторцирконата калия производится в течение нескольких минут, куски его в процессе «рубки» погружают в расплавленный алюминий.

После окончания реакции взаимодействия алюминия с фторцирконатом калия, когда на поверхности металла появятся продукты реакции и шлак, который собирается в виде отдельных островков, обнажая зеркало ванны, для предохранения сплава от окисления поверхность ванны засыпают обезвоженным карналлитовым флюсом из расчета 1 — 2% от веса металлической шихты.

Обезвоженный флюс хранят в герметически закрывающейся таре в сухом месте.

После расплавления флюса в тигель загружают предварительно нагретые до 120 — 150 °С возвраты. Загрузку возвратов производят в несколько приемов, по мере расплавления предыдущей порции таким образом, чтобы они были полностью погружены в расплавленный металл и покрыты слоем флюса. Категорически воспрещается во время плавки держать поверхность металла без флюсового покрова. После расплавления возвратов производят перемешивание.

Если на поверхности сплава скопилось много шлака, его следует удалить и на поверхность сплава засыпать новую порцию флюса. Если сплав сильно загрязнен, такая рафинировка производится дважды, путем засыпки флюса в количестве 0,5 — 1% от веса шихты.

Под расплавленный флюс при помощи литейных клещей вводят подогретый до 150 °С магний. При загрузке магния не допускается всплывание его на поверхность ванны. После расплавления магния сплав тщательно перемешивают, дают ему выстояться в течение 3 — 5 мин для обеспечения всплывания на поверхность неметаллических включений и газовых пузырьков и после этого тщательно удаляют флюс и шлак. Рекомендуется вводить присадки Be и Ti в виде двойных легатур (Al — Be, Al — Ti) в количестве 0,05 — 0,07% от веса шихты.

Хромель-алюмелевой термопарой погружения измеряют температуру сплава, которая перед разливкой не должна превышать 680 — 690 °С.

Перед разливкой берется технологическая проба на излом. Излом технологической пробы должен быть светлым, мелко-кристаллического строения, плотным без черных и темно-серых включений. Наличие в изломе чернот, пористости и крупнокристаллического строения свидетельствует о перегреве, окисленности и плохой рафинировке сплава.

Разливку сплава производят железными или графитовыми разливочными ковшами, которые должны иметь специальные железные перегородки для улавливания окисных плен и случайных остатков шлака и флюса. Разливочные железные ковши и весь железный литейный инструмент должны быть окрашены краской следующего состава: бура — 35%, борная кислота — 35%, окись магния — 5% и графит — 25%.

Краску разводят водой до консистенции сметаны и наносят слоем толщиной 1 — 1,5 мм.

Носок разливочного ковша должен касаться литниковой чаши формы и струя металла должна быть плавной и короткой.

Во время заливки опок необходимо придерживать очищающей окисные пленки и случайные остатки шлака и флюса, находящиеся на поверхности расплавленного металла.

Разливку сплава в формы производят при температурах, указанных в технологических картах.

В середине разливки заливают пробу на химический анализ и механические свойства.

Рекомендуемая температура заливки пробных фасонных образцов — 670 — 680 °C.

§ 6. ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ И СПОСОБЫ ДЕГАЗАЦИИ И ОЧИСТКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ОТ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ

Все практические мероприятия по предупреждению абсорбции газов при плавке и разливке алюминиевых сплавов могут быть:

а) профилактического характера — против поглощения газов металлом во время плавки и разливки;

б) рафинирующего характера — по удалению из расплава газов, поглощенных им при плавке;

в) препятствующими выделению газов из расплава в период охлаждения отливок в формах.

К основным предупредительным мерам против поглощения газов в процессе плавки и разливки относятся: применение возможно чистых исходных материалов, устранение перегрева металла, сокращение длительности плавки за счет максимальной интенсификации процесса и ликвидации внутриплавочных простоев и задержек плавок из-за формовки, применение покровных (защитных) флюсов и др.

Удаление из металла газов, поглощенных им в процессе плавки, производится методами вакуумирования, вымораживания, подсуживания, а также обработкой сплава в жидком состоянии хлористыми и фтористыми солями, солями циркония, продувкой азотом, хлорированием, вибрацией и др. Мерами, препятствующими выделению газов в период остывания отливок, являются: литье с кристаллизацией под воздушным давлением в автоклавах, литье с прибылями, действующими под газовым или воздушным давлением.

Метод кристаллизации литья под давлением заключается в затвердевании залитых форм в специальных резервуарах — автоклавах под небольшим ($5 - 6 \text{ кг/см}^2$ или $0,5 - 0,6 \text{ Мн/м}^2$) давлением. Этот метод был впервые опубликован А. А. Бочваром и А. Г. Спасским еще в 1936 г. и нашел широкое практическое применение при изготовлении сложных и крупных отливок из алюминиевых сплавов АЛ4, АЛ5, АЛ9 и др.

Вместе с устранением пористости повышаются механические свойства отливок.

По свидетельству А. А. Бочвара и А. Г. Спасского, увеличение плотности отливок, затвердевающих в автоклаве, обуславливается не только pressующим действием давления на газовые поры, но и тем, что газы при охлаждении не успевают выделиться и остаются в твердом металле в виде пересыщенного раствора.

Источниками образования и насыщения алюминиевых сплавов газами являются: влажные или загрязненные маслом и нефтью шихтовые материалы, печная атмосфера, флюсы, плохо прокаленные раздаточные тигли, захват воздуха струей металла, песчаные формы с повышенной влажностью, краски, литейный инструмент.

Главным источником образования газов является печная атмосфера, содержащая, помимо кислорода и азота, пары воды, водород, окись углерода, углекислый газ, углеводороды, сернистый газ в самых различных соотношениях в зависимости от состава и количества топлива и воздуха. Наибольшую опасность представляет влага, содержащаяся в топливе и воздухе, участвующем в сгорании топлива.

Наличие водорода в топливе определяется содержанием влаги в печной атмосфере. Так, по некоторым данным в сухих зимних условиях, считая, что температура воздуха 0°C при относительной влажности 50%, содержание влаги в печной атмосфере при полном сгорании топлива составляет (по видам топлива): в коксе — 0,70%; в антраците — 2,55%; в увлажненном коксе — 3,53%, в генераторном газе — 4,06%; в креозотной смоле — 4,13%; коксующемся угле — 4,42%; в нефти — 5,44%; в коксовальном газе — 14,37%.

Как показали исследования А. А. Горшкова и С. В. Варгина, влажность воздуха оказывает непосредственное влияние на качество отливок из алюминиевых сплавов. При этом была установлена зависимость пористости отливок от среднемесячного колебания влажности воздуха. Содержание водяных паров в воздухе непрерывно меняется и находится в пределах $3 - 5 \text{ г/м}^3$ зимой и до 18 г/м^3 и более летом.

Для избежания окисления и газонасыщенности алюминиево-магниевого сплава при взаимодействии с песчаной формой в состав формовочной смеси вводится борная кислота в количестве до 5% и иногда сера. Влажность смеси снижается до 14%.

Алюминиевые сплавы, содержащие даже 0,5% магния, активно взаимодействуют с материалом формы. Взаимодействие становится все более интенсивным по мере увеличения содержания магния в сплаве.

Весьма действенным средством против окисляемости сплавов алюминия с магнием в жидком состоянии и устранения взаимодействия сплава с материалом формы является добавка бериллия.

Установлено, что добавка 0,02% бериллия в алюминиевый сплав, содержащий 10% магния, почти полностью устраняет взаимодействие его с материалом формы и значительно снижает окисляемость сплава в жидком состоянии.

Как указывалось выше, взаимодействие металла с формой уменьшается также добавками в формовочную смесь борной кислоты и фтористого аммония. От действия борной кислоты на поверхности отливок образуется борат магния, а от действия фтористого аммония и других фторидов — прочная пленка фтористого магния.

Почти все алюминиевые сплавы обладают повышенной склонностью к газонасыщенности, вследствие чего в них появляется пористость. Эта пористость представляет собой захваченные пузырьки газа (водорода), выделяющегося из раствора при падении температуры и уменьшении растворимости.

Поэтому при производстве литья из алюминиевых сплавов постоянно контролируется их газонасыщенность и предпринимаются различные меры по улучшению литейной технологии.

Существуют следующие способы дегазации и очистки алюминиевых сплавов от неметаллических включений:

1. Переплав чушек соответствующего химического состава, предварительно приготовленных из исходных материалов и отходов собственного производства.

2. Ведение процесса плавки максимально форсированно при пониженных температурах и под покровными (защитными) флюсами.

3. Обработка расплава хлористыми и фтористыми солями: хлористым цинком, хлористым марганцем, хлористым цирконием, фторцирконатом калия (K_2ZnF_6), фтористым кальцием и др.

4. Продувка расплава активными или инертными газами (хлором, азотом, гелием или др.).

5. Выстаивание (вымораживание) или подстуживание расплава в печи с последующим быстрым нагревом до температуры разливки.

6. Дегазация алюминиевых сплавов гексахлорэтаном по способу, предложенному М. В. Шаровым и О. И. Никишаевой.

7. Дегазация при помощи вибрации, ультразвуковой обработкой и др.

8. Фильтрация жидкого металла.

Выплавка сплава из чушек, предварительно приготовленных из исходных материалов и отходов, заключается в получении однородного дегазированного сплава стабильного химического состава, но этот способ имеет весьма ограниченное применение из-за недостатков, присущих двойному переплаву, двойному угару, перерасходу топлива и электроэнергии.

Обработка алюминиевых сплавов флюсами заключается в сравнительной простоте и в удовлетворительном защитном и рафинирующем действии их, уменьшении угара и повышении выхода годного.

Широкое применение в практике работы литейных цехов нашел универсальный флюс ВИ-45, рекомендованный ВИАМом.

Состав универсальных флюсов для модифицирования и рафинирования алюминиевокремниевых сплавов приведен в табл. 39.

Он применяется как в жидком, так и порошкообразном состояниях. Для применения универсального флюса в жидком состоянии ВИАМом сконструирована специальная 3-фазная электродная электропечь с центральным нагревом солей.

Состав универсальных флюсов

Номер флюса	Составляющие, %				Температура плавления, °С	Минимальная температура модифициро- вания, °С
	фтористый натрий	хлористый натрий	хлористый калий	криолит		
1	60	25	—	15	850	750
2	40	45	—	15	780	730
3	30	50	10	10	710	720

Печь снабжена вытяжным устройством для удаления паров флюса. Стойкость футеровки 5 — 6 месяцев.

При приготовлении твердого флюса необходимость в изготовлении специальной плавильной электропечи отпадает. Все составляющие соли (NaCl , KCl , NaF_2) и криолит (Na_2AlF_6) должны быть высушены в камерной печи или сушилке при температуре 200 — 250 °С в течение 3 — 5 ч. Высушенные соли смешивают в бегунах или шаровой мельнице, размалывают и перемешивают до получения однородной смеси.

Приготовленную смесь солей просеивают через сито с диаметром ячейки 0,5 — 1,0 мм.

Эффективность действия универсального флюса выражается в уменьшении расхода солей с 2% от веса расплава до 0,7 — 1,0% в твердом и до 0,3 — 0,5% в расплавленном состоянии.

Универсальный порошковый флюс, предварительно нагретый до 250 — 300 °С, вводят разливочным ковшом в струю металла в количестве: для литья в землю 0,75 — 1,0% и для литья в кокиль 0,5 — 1,0% от веса металла. По истечении 2 — 4 мин после заполнения ковша сплавом поверхность расплава тщательно очищают. Затем измеряют температуру и производят заливку форм. Механические свойства алюминиевокремниевых сплавов после обработки универсальными флюсами заметно повышаются.

Универсальные флюсы дегазируют сплавы более активно, чем хлористый цинк и другие флюсы.

Все флюсы, применяемые при производстве литья из алюминиевых сплавов, должны удовлетворять следующим основным требованиям:

1. Обладать возможно меньшим удельным весом и покрывать равномерным слоем поверхность ванны.

2. Температура плавления флюсов должна быть ниже температуры плавления сплава.

3. Обладать хорошей смачиваемостью для лучшего отделения окиси алюминия от капель сплава.

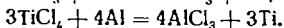
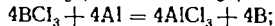
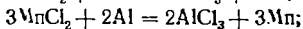
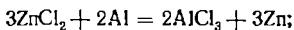
4. Обладать хорошей жидкотекучестью и значительно меньшим поверхностным натяжением, чем выплавленные сплавы.

5. Быть дешевыми, недефицитными, негигроскопичными, нетоксичными и не вступать во взаимодействие с огнеупорными материалами футеровки печи.

Выбор рационального состава флюсов является весьма сложной и ответственной задачей, которая должна решаться в каждом отдельном случае с учетом специфических условий данного производства.

В качестве дегазаторов алюминиевых сплавов применяются хлориды различных металлов: хлористый цинк, хлористый марганец, хлористый алюминий, треххлористый бор, четыреххлористый титан, четыреххлористый углерод, четыреххлористый кремний, хлористое железо, тетрахлорэтан и другие соединения, в количестве 0,15 — 0,20% от веса металла.

Действие хлоридов (твердых, жидких и летучих) основано на нижеприведенных обменных реакциях, в результате которых происходит восстановление и переход в сплав цинка, марганца, алюминия, бора, титана и других металлов, а также образование летучего хлористого алюминия, увлекающего часть водорода из расплава



Хлористый цинк требует тщательного обезвоживания, так как очень гигроскопичен и может внести в металл влагу. Как дегазатор алюминиевых сплавов хлористый цинк в последнее время не применяется. Для одинакового воздействия на сплав его необходимо вводить в $1\frac{1}{2}$ раза больше, чем хлористого марганца.

Работа с хлористым марганцем более удобна вследствие меньшей его гигроскопичности по сравнению с хлористым цинком.

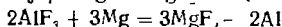
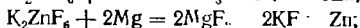
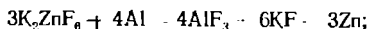
Хлористым цинком не рекомендуется производить дегазацию сплава АЛ13, так как в сплаве повышается содержание цинка, понижающего его коррозионную стойкость.

Обработка сплавов в жидком состоянии фторцирконатом калия по методу, разработанному М. В. Шаровым и М. Ф. Одиной (МАТИ), способствует уменьшению газонасыщенности, измельчению зерна, повышению механических свойств и обеспечивает требуемую плотность и герметичность отливок.

Фторцирконат калия представляет собой кристаллический порошок белого цвета. Он негигроскопичен. Расход его составляет 1% от веса свалки металлов.

Если отходы и возвраты собственного производства фторцирконатом калия не обрабатывались, расход его составляет 1 - 1,2% от веса металлической части шихты; если обрабатывались, расход его снижается до 0,5 — 0,8% от веса шихты. При этом обеспечивается переход циркония из фторцирконата калия в сплав в количестве около 0,1%.

При обработке алюминиевомагнелиевых сплавов фторцирконатом калия возможны следующие реакции:



Исследованиями М. В. Шарова и М. Ф. Одиной подтверждено, что реакция взаимодействия расплавленного металла с K_2ZnF_6 идет в сторону образования фтористого магния (MgF_2) и циркония.

Восстановленный из K_2ZnF_6 цирконий частично переходит в сплав, а частично реагирует с растворенным в сплаве водородом, образуя стойкие при температурах плавки гидриды циркония. Связывая водород в прочное соединение, цирконий способствует уменьшению газонасыщенности и уплотнению отливки.

Цирконий активно поглощает водород уже при температуре 300—400°С с образованием твердого раствора водорода в цирконии и гидридов циркония.

С другой стороны, так как растворимость циркония в твердом алюминии, как это следует из диаграммы состояния $Al-Zn$ (рис. 53), весьма мала, то при кристаллизации сплава частицы соединения $ZnAl_3$ будут выпадать из жидкого раствора и служить дополнительными центрами кристаллизации, а незначительные количества легирующего элемента циркония, перешедшего в твердый раствор, — способствовать повышению механических свойств сплава.

Химическое соединение $ZnAl_3$ отлагается преимущественно по границе зерен твердого раствора в виде нгп и звездочек темного цвета, легко различаемых под микроскопом.

Л. О. Соколовским, М. Н. Вахромеевым и А. Г. Капалиным практически были достигнуты положительные результаты обработки сплавов АЛ8 и АЛ13 фторцирконатом калия в сочетании с продувкой их азотом. При этом улучшилась структура, повысились механические свойства, уменьшились окисляемость, газовая пористость и развитие «белых хлопьев» в отливках (рис. 54).

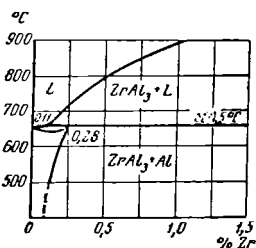


Рис. 53 Диаграмма состояния сплавов алюминий—цирконий

Рентгеновским просвечиванием сложных корпусных отливок газовая пористость не обнаруживалась. В отдельных случаях она выявлялась в едва заметной степени.

При дегазации расплавленного металла продувкой инертным газом происходит диффузия растворенного в нем газа к поверхности раздела инертный газ — металл.

Скорость диффузии будет тем больше, чем большая поверхность металла окажется в соприкосновении с продуваемым газом. Для ускорения дегазации необходимо, чтобы струя инертного газа проникала через всю толщину металла под большим напором и чтобы газ распространялся в нем равномерно, в виде мельчайших многочисленных пузырьков.



Рис. 54. Сплав АЛ8 до и после обработки фторцирконатом калия

Продувка алюминиевых сплавов азотом является средством борьбы с газовой пористостью в отливках.

Сущность процесса продувки азотом, как уже упоминалось, заключается в том, что пропускаемый через алюминиевый сплав азот, увлекает с собой некоторое количество водорода и уносит его в атмосферу. Пузырьки азота оказывают также флотирующее действие на окислы, находящиеся во взвешенном состоянии и способствуют удалению их из расплава («эффект барботаж и флотации»).

Содержание кислорода в азоте не должно превышать 1% для первого сорта и 3% для второго. Наличие кислорода сверх указанного количества приводит к образованию в металле окислов и шлаковых включений.

Схема продувки жидкого металла азотом в раздаточной печи представлена на рис. 55.

Для проведения процесса продувки необходимы следующие материалы и оборудование: баллон с газохранимым азотом 1, редуктор

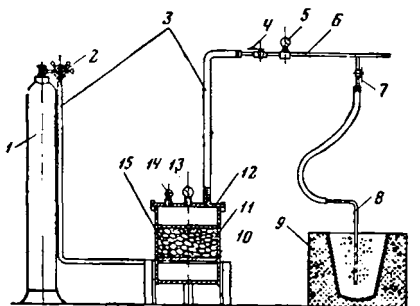


Рис. 55. Схема продувки жидкого металла азотом

2 для понижения давления азота в баллоне со 150 до 0,10—0,15 кг/см^2 (с 15 до 0,01—0,015 Мн/м^2), железный бачок 10 с аморфным хлористым кальцием 11 для очистки азота от влаги (рис. 56), снабженный герметически закрывающейся крышкой 12 для закладывания (зарядки) и извлечения хлористого кальция, железной сеткой 15 с отверстиями в 3 мм и двумя отводами 3, счетчик-газомер 5, трубки 8 металлические или кварцевые диаметром 20 мм, с просверленными мелкими отверстиями в количестве 10—15 диаметром не более 1,5 мм, предохранительный клапан 14 на давление 0,3 кг/см^2 (0,03 Мн/м^2), предохранительный кран 4 и соединительная трубка 6 с краном 7. Все швы бачка предварительно проверяются на герметичность испытанием давлением сжатого воздуха от сети.

Давление азота регулируется по показанию манометра низкого давления [0,10—0,15 кг/см^2 (0,01—0,15 Мн/м^2)] с мелкой градуировкой. Баллоны с сжатым азотом должны отстоять от плавильного агрегата 9 на расстоянии не менее 5 м. Доступ к ним должен быть свободным. При отсутствии в цехе свободных площадей баллоны в рампях могут быть вынесены за пределы плавильного отделения. Во время продувки металл не должен сильно бурлить и расплескиваться. Количество продуваемого азота через слой жидкого метал-

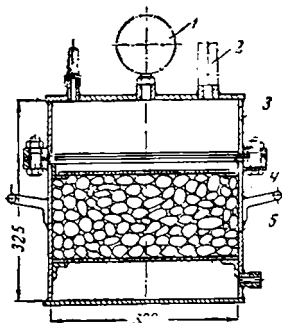


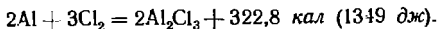
Рис. 56. Бачок для обезвоживания азота

1 — манометр; 2 — предохранительный клапан; 3 — крышка; 4 — счетчик; 5 — хлористый кальций

ла должно составлять примерно 15—20 л в минуту, что соответствует показаниям манометра 0,10—0,15 кг/см² (0,01—0,015 Мн/м²). Продолжительность продувки 3—5 мин.

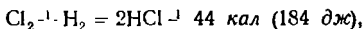
Наиболее интенсивным средством дегазации алюминиевых сплавов является метод хлорирования.

Газообразный хлор, взаимодействуя с алюминием, образует хлористый алюминий:



В пузырьки хлористого алюминия, пронизывающие жидкий сплав, диффундирует водород, так как парциальное давление в них равно нулю. Всплывая на поверхность ванны, пузырьки выносят водород из металла.

Хлор, вступая в реакцию с водородом, образует хлористый водород по реакции:



который также выделяется из металла, о чем свидетельствует характерный запах при продувке.

На рис. 57 схематически показан механизм взаимодействия хлора с алюминием и растворенными в нем газами (по И. Е. Горшкову).

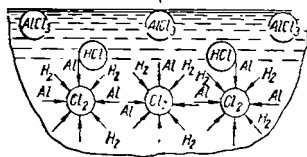


Рис. 57. Схема взаимодействия хлора с алюминием (по И. Е. Горшкову)

Установка для хлорирования (рис. 58) состоит из баллона с хлором 1, осушительных склянок Тищенко с серной кислотой 2, ртутного манометра 3 и кварцевой трубки 4 диаметром 6 мм. Баллон с хлором и склянками должен находиться в помещении, изолированном от литейной.

Процесс хлорирования ведется в тигле 5, имеющем крышку 6 из листового железа толщиной в 1,5 мм с отводом отходящих газов в боров 7. Над тиглем должен быть установлен вентиляционный кожух. Кварцевая трубка вводится в расплавленный металл на расстоянии 100—150 мм от дна тигля.

Обработка расплава производится при давлении около 100 мм рт. ст. (13332 Н/м²). Продолжительность обработки зависит от марки сплава и качества исходных шихтовых материалов. При сильно загрязненной шихте длительность рафинирования увеличивается и не должна превышать 10—12 мин.

После хлорирования поверхность ванны очищают от шлака и производят разливку сплава.

При хлорировании не рекомендуется для алюминиевых сплавов с высоким содержанием магния во избежание потерь магния и изменения химического состава.

Препятствием для широкого внедрения этого метода является токсичность хлора, вредно отражающаяся на здоровье работающих.

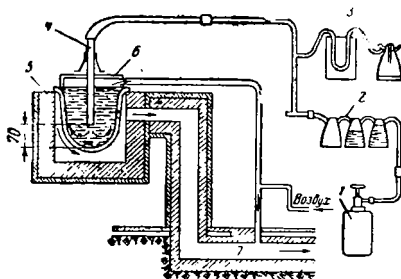


Рис. 58. Схема установки для дегазации алюминиевых сплавов хлором

Рабочий персонал, обслуживающий хлорные установки, должен быть снабжен защитной одеждой и противогазами (респираторами), а печные агрегаты оборудованы усиленной приточно-вытяжной вентиляцией.

Помимо дегазирующего действия, хлор способствует удалению из расплава других неметаллических включений (окислов), находящихся во взвешенном состоянии.

По предположению И. Е. Горшкова, пузырьки парообразного хлористого алюминия оказывают на взвешенные в расплаве частицы окислов флотирующее действие, схематически показанное на рис. 59.

Частицы окислов прилипают к пузырькам газа и вместе с ними поднимаются на поверхность ванны, откуда легко удаляются.

Способ выстивания (вымораживания) или подстуживания расплава в печи с последующим быстрым нагревом до температуры разливки основан на падении растворимости расплава насыщенного газами по мере его затвердевания и выделения газов (водорода) в виде пузырьков в атмосферу.

Этот простой способ дегазации не получил промышленного распространения, главным образом, из-за неэкономичности проведения повторных переплавов и получения недостаточно надежных

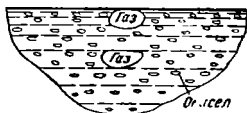


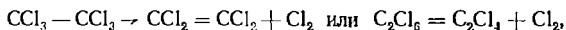
Рис. 59. Схема очистки сплава от газов и нерастворимых окислов флотационным процессом (по И. Е. Горшкову)

результатов, особенно при проведении дегазации при повышенных температурах, когда на поверхности расплава образуется прочная окисная пленка, непроницаемая для водорода. За рубежом этот способ получил весьма ограниченное применение при производстве магниевых сплавов.

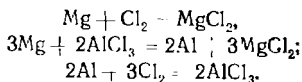
Способ дегазации алюминиевых сплавов гексахлорэтаном предложен в последнее время М. В. Шаровым и О. И. Никишаевой.

Гексахлорэтан (C_2Cl_6) — это органическое вещество. Его удельный вес $2,091 \text{ г/см}^3$, температура плавления $186,5^\circ\text{C}$, температура возгонки $185,5^\circ\text{C}$. В отличие от хлористого марганца и других хлоридов гексахлорэтан не подвергается дегидратации. Он негигроскопичен и поэтому для его хранения не требуется специальных условий. Гексахлорэтан недорог, недефицитен и производится в промышленном масштабе.

Дегазирующая способность гексахлорэтана выше других хлоридов. При введении в раствор гексахлорэтан примерно 30% заключенного в нем хлора взаимодействует с алюминием, а остальной хлор остается в соединении с углеродом, образуя тетрахлорэтилен:



представляющий собой жидкость с температурой кипения 121°C и удельным весом $1,624 \text{ г/см}^3$ (при 15°C). При введении гексахлорэтана в сплав АЛ9 возможны следующие реакции:



Процесс дегазации сплава АЛ9 гексахлорэтаном можно представить следующим образом: пузырьки, наполненные смесью тетрахлорэтилена и хлористого алюминия, проходят через расплав. В эти пузырьки диффундирует водород, растворенный в сплаве, и удаляется вместе с ними в атмосферу. Вместе с этим хлористый алюминий взаимодействует с магнием, образуя хлористый магний.

Установлено, что с повышением температуры степень дегазации сплава АЛ9 возрастает. Так, при температуре $700 - 710^\circ\text{C}$ содержание водорода в расплаве составляет в среднем $0,12 \text{ см}^3$ на 100 г металла, а после дегазации при температуре $740 - 750^\circ\text{C}$ содержание водорода снижается до $0,06 - 0,08 \text{ см}^3$ на 100 г металла.

Расход гексахлорэтана в этом случае составляет 0,75% от веса сплава.

При литье сплава АЛ9 в сырые формы наблюдается незначительная пористость в отливках. Появление этой пористости связано с взаимодействием расплава с влагой формы и повторным насыщением сплава водородом.

Применением специальных формовочных смесей (сухих форм или форм с подсушенной поверхностью), а также понижением температуры заливки металла можно в значительной степени уменьшить повторную газонасыщенность сплава АЛ9.

По данным О. И. Никишаевой, М. В. Шарова и Г. С. Фадеева* покрытие форм сажей или гексахлорэтаном позволяет в значительной степени улучшить заполняемость их алюминиевыми сплавами. Температура заливки сплавов в формы с покрытиями по сравнению с температурой заливки в формы без покрытий заметно снижается (примерно на 50—60 °С), что способствует уменьшению взаимодействия расплава с влагой воздуха и формовочными материалами и обогащения его водородом.

Нанесенные на поверхность форм покрытия повышают плотность отливок и уменьшают образование в них горячих трещин. Кроме того, благодаря приближению к ламинарному движению расплава в литниковых каналах и в рабочей полости формы происходит их лучшее заполнение, что способствует получению отливок без шлаковых включений.

Сажа наносится на рабочую поверхность форм с помощью газовой горелки, в которую подается только ацетилен. Гексахлорэтан напыляется пульверизатором в виде 20%-ного раствора в ацетоне.

Лабораторные и заводские испытания проводились при заливке алюминиевых сплавов АЛ2 и АЛ9.

Проведенные МАТИ лабораторные и заводские работы по дегазации алюминиевых сплавов АЛ2 и АЛ9 гексахлорэтаном дали положительные результаты. В отлитых деталях газовой пористости в большинстве случаев не было. Этот способ дегазации алюминиевых сплавов уже нашел промышленное применение на ряде заводов в СССР и за рубежом.

По сообщению Дж. Мерфи, на многих заводах США и Англии обработка магниевых сплавов, содержащих алюминий и цинк, гексахлорэтаном с целью регулирования размера зерна, стало общепринятым приемом.

Способ дегазации при помощи вибрации является, по-видимому, одним из наиболее эффективных и универсальных и может быть использован в производственном масштабе.

Идея улучшения свойств литого металла сотрясанием в процессе затвердевания была впервые высказана нашим соотечественником Д. К. Черновым еще в 1886 г. Однако успешное применение этого способа началось только в 1910 г. в производстве стальных слитков. Опыты показали, что с помощью механических воздействий определенной силы можно влиять на процесс кристаллизации металла в форме.

* О. И. Никишаева, М. В. Шаров и Г. С. Фадеев. «Покрытия форм для заливки алюминиево-магниевого сплава». «Производство отливок из легких сплавов». Труды МАТИ, № 63. «Машиностроение», 1960.

В результате увеличилась плотность слитков во внутренних объемах, полностью устранились газовые пузыри и улучшились механические свойства сплава.

В последнее время интерес к изучению методов активного воздействия на процесс кристаллизации металлов заметно возрос (механическая вибрация и наложение ультразвукового поля, взамен предложенного Д. К. Черновым перемещения жидкого металла путем сотрясения или встряхивания).

Под сотрясением или встряхиванием обычно понимаются колебания невысокой частоты — до 1,0—1,5 гц с амплитудой до 100 мм, а под механической вибрацией — колебания более высокой частоты: от 1,5 до 10 000 гц с амплитудой 0,01 — 5,00 мм. Ультразвуковая обработка сплавов совершается с частотой до 10 000 гц и выше.

Практически вибрация кокильных форм в производственных условиях была осуществлена Н. И. Смирновым и К. М. Королевым еще в 1938 г. на отливках авиационных поршней из алюминиевого сплава. Если при обычном литье брак по газовым раковинам этих деталей был велик, то с применением вибрации он значительно уменьшился, так как выделение газа из металла облегчилось.

А. А. Горшков и В. В. Вагин позднее применили встряхивание и вибрацию подогретых кокильных форм для алюминиевых отливок из сплавов АЛ5 и АЛ27 и пришли к выводу, что механическое воздействие на расплав во время кристаллизации повышает прочность на 10 % для сплава АЛ27 при частоте 3 гц и амплитуде 10 мм и на 27 % для этого же сплава при частоте 15 гц.

Чем выше частота вибрации, тем больше возрастает прочность сплава.

Опыты были продолжены в заводских условиях на серийных отливках весом 28 кг из сплава АЛ5. К кокилю (с электрообогревом до температуры 470 — 500 С) были прикреплены два пневматических вибратора с диаметром плунжера 50 мм, обеспечивающих вибрацию с частотой 500 гц при амплитуде 0,5—2,0 мм. Опытные отливки имели сложное очертание с переходами от тонких к толстым сечениям. Наличие тонких ребер на поверхности отливок часто приводило к повышенному браку литья по недоливам и холодным саям. Применение вибрации устранило этот вид брака. Структура металла заметно улучшилась, механические свойства повысились на 8 — 10 %.

Гармонические (безударные) колебания можно использовать для воздействия на процесс затвердевания отливок и получения их с более измелченной структурой и более повышенными механическими свойствами. Наложением ультразвукового поля с возрастающей частотой вибрации достигается ускорение кристаллизации и однородности структуры по толщине тела отливки (слитка). Установлено, что при наложении ультразвукового поля с частотой $7 \cdot 10^5$ гц, продолжите время кристаллизации цинка уменьшается

на 10%, а при наложении поля с частотой $3,7 \cdot 10^6$ гц — на 35% по сравнению со временем, необходимым для кристаллизации в неподвижной изложнице.

А. П. Капустин объясняет это явление тем, что образовавшиеся и несколько подросшие зародышевые кристаллы при вибрации больше не растут, а становятся центрами новых зародышей.

Протекающий процесс образования зародышей напоминает цепную реакцию, в результате которой возникает множество центров кристаллизации, заполняющих объем слитка.

В некоторых немецких работах описаны опыты, в которых алюминиевые сплавы обрабатывались звуковыми волнами. Хорошая дегазация расплава достигалась после обработки его звуковыми волнами в течение 45 — 60 мин. О степени дегазации судили по плотности слитков и по количеству газов, извлеченных из образцов при переплавке в вакууме. Были также проведены опыты по дегазации расплава ультразвуковыми колебаниями с положительным эффектом.

М. Б. Альтманом, В. И. Слотиным, Г. И. Эскиным и др. в ранее проведенных исследованиях* температура дегазации плавов меньшего развеса установлена 720—740°C.

Анализ рентгенограмм показал, что ультразвуковой метод дегазации при одинаковых технологических условиях позволяет получать отливки высокого качества по плотности. Опыт обработки сплавов АЛЗ, АЛ9 и др. показал также, что содержание титана в сплавах повышается незначительно (в пределах 0,01—0,03% в плавке весом 200 кг). Но это модифицирование сказывается положительно на макро- и микростроении отливок и на повышении их пластичности.

Данные механических испытаний образцов многих плавов показали, что величина удлинения повышается на 16%, а предел прочности остается почти без изменения.

По данным, полученным на установке Дардела — Гудченко, содержание водорода в сплаве АЛ9 после ультразвуковой дегазации составило 0,05—0,1 см³/100 г, что соответствует примерно пределу растворимости водорода в твердом алюминии.

Проверка химического состава отливок после 30 дней непрерывной работы цеха показала, что предельное содержание титана достигает 0,1%, что в 3 раза меньше допустимых по ГОСТу примесей для любого алюминиевого сплава.

Волиноводы рассчитаны на 3—4 плавки, после чего их необходимо отремонтировать путем наплавки на рабочий торец титана аргоно-дуговой сваркой.

Эксплуатация промышленного агрегата УЗД-100 для указанной цели показала его надежность и простоту обслуживания.

* М. Б. Альтман, В. И. Слотин, Д. В. Виноградов и Г. И. Эскин. «О воздействии упругих колебаний ультразвуковой частоты на процесс дегазации». «Известия» АН СССР, ОТН, 9, 1958 г.

Способ фильтрации жидкого металла, адсорбирующий неметаллические включения, заключается в следующем.

В металл, находящийся в печи, погружают фильтр, предварительно нагретый до $700\text{--}800^\circ\text{C}$, удерживаемый в рабочем положении на опорном приспособлении. В фильтр, сделанный из графитового тигля, на дне которого насверлены отверстия, насыпают крошку предварительно сплавленного и раздробленного флюса слоем $40\text{--}60$ мм с размером кусков $5\text{--}7$ мм. При погружении подогретого фильтра металл свободно проходит через крошку и заполняет цилиндр. При такой фильтрации сплав очищается от неметаллических включений, в том числе и от тонкой взвеси окислов алюминия, флюсовых, шлаковых и других включений.

Конструкции фильтров различны. Они могут быть встроены либо в печак (опыт Московского завода вторичного алюминия при плавке сплавов в отражательных печах с раздаточной ванной), либо в литниковых системах литейных форм.

В настоящее время фильтрация жидкого металла в промышленном масштабе применяется преимущественно в производстве вторичного алюминия для очистки расплава от железа.

Однако этот способ может найти более широкое практическое применение в производстве алюминиевых сплавов. Подача жидкого металла в литейную форму сквозь слой кускового материала дает возможность создать малую линейную скорость потока металла в литниковой системе.

Применение фильтрующих стояков особенно важно при заливке высоких литейных форм, где скорость движения металла в начальный период очень велика. Снижение в стояке скорости металла способствует уменьшению образования шлаковой пены и пузырей. Кроме того, применяя для фильтра соответствующие материалы, можно производить легирование и модифицирование расплава.

Опыты по фильтрации жидкого металла проводились В. С. Калабушкиным и М. В. Пикуновым.

В качестве испытуемого материала был взят алюминий марки А1, удельный вес которого при температуре $750\text{--}800^\circ\text{C}$ принимался равным $2,38\text{ г/см}^3$. Материалом фильтра служил дробленый магнезит четырех фракций с размерами кусков: $0,5\text{--}0,8$; $0,8\text{--}1,0$; $1,0\text{--}1,5$; $1,5\text{--}2,0$ см. Кусочки магнезита помещались в стальную трубу диаметром 50 мм, в нижнем конце которой для удержания магнезита укреплялась стальная сетка. Собранный таким образом фильтр нагревался перед опытом до 850°C .

В процессе проведения серии опытов изучалось влияние на скорость фильтрации размеров кусков фильтра, толщины фильтрующего слоя и скорости движения металла, а также возможность эффективного использования различных материалов фильтров фтористых солей: фтористого кальция, фтористого натрия.

А. Г. Спасский,* М. В. Пикунов и Е. А. Лебедев сообщают о результатах очистки расплава от неметаллических включений путем применения фильтрации через кусковые фильтры.

Работа фильтров оценивалась путем сравнения количества плен до и после фильтрации. В качестве фильтра использовались куски магнезитового кирпича размерами 5—10 мм в слое, толщиной 50 и 100 мм (серии опытов с обычным магнезитом и кусками несмачиваемого магнезита, пропитанного парафином).

Для сравнения проводилась также работа по фильтрации алюминиевых сплавов через стеклоткань.

По свидетельству авторов, кусковой фильтр является очень действенным средством для очистки от взвешенных включений. Фильтр из кусков 5—10 мм, толщиной 50 мм задерживает 50—70% частиц размером 1—1 мм, а при толщине 100 мм удерживается 90—95% таких частиц. При более крупных частицах действие фильтра выражается еще более четко. Действие фильтра, несмачиваемого фильтруемой жидкостью, несколько хуже.

Действие кускового фильтра основывается не столько на механическом удержании взвешенных частиц, сколько на прилипании (адгезии) их к кускам фильтра и задерживании в зонах пониженного давления.

Именно поэтому чисто механический фильтр-стеклоткань почти совершенно не задерживает частиц меньшего, чем ячейка, размера и хорошо улавливает более крупные частицы.

Изучение изломов слитков, отлитых методом фильтрации, показало, что средняя загрязненность металла уменьшилась, примерно, в 2 раза.

Авторы приходят к выводу, что фильтрация через кусковые фильтры в условиях полунепрерывного литья алюминиевых сплавов дает возможность значительно повысить чистоту металла по пленкам. При этом они рекомендуют фильтр помещать в распределительную воронку, а в качестве фильтрующих материалов применять дробленый магнезитовый кирпич и сплав фторидов.

Применение дробленого шамота также возможно, но в этом случае возникает опасность всплывания кусочков фильтра и взаимодействия алюминия с SiO_2 (кремнеземом), входящим в состав шамота. Магнезит тяжелее жидкого алюминия и химически не взаимодействует с ним до 1000 С.

Фильтрация расплава через кусковые фильтры была использована на Московском заводе малолитражных автомобилей в цехе литья под давлением алюминиевых сплавов.

Фильтрация проводилась при заливке различных алюминиевых сплавов АЛ9В, АЛ14 и АЛЗЧ и др. Фильтрующим материалом служил дробленый магнезитовый кирпич из кусков 12—15 мм, прокаленный перед использованием при 900°C. Кусковая засыпка загружалась на дно кармана слоем 60 мм. Металл забирался только из кармана с профильтрованным расплавом, прошедшим через ку-

сковой фильтр. Загрузка чушек, бракованных деталей и пресс остатков производилась только в ванну вне кармана.

Для фильтрации цинкового сплава ЦАМІ использовался чугунный тигель несколько видоизмененной конструкции. Так как в жидком цинковом сплаве магнезитовая засыпка всплывает, она помещалась не на дне кармана, а под ним. Фильтрация расплава и в этом случае обеспечивала значительное повышение чистоты металла и в то же время не осложняла и не затрудняла работу литейщиков.

§ 7. КАЧЕСТВЕННЫЕ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ГАЗОВ В АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВАХ

Определению содержания газов в цветных металлах и сплавах до последнего времени уделялось мало внимания.

Разработанные в последние годы различные методы определения содержания газов в металлах и сплавах хотя несколько сложны и требуют установки специальной аппаратуры, но в практических условиях дают достаточно точные и вполне воспроизводимые результаты.

Различают следующие качественные и количественные методы определения содержания газов в легких сплавах.

Качественные методы

Метод определения процента пористости пробных отливок и удельного веса (плотности) литых образцов является наиболее простым и распространенным способом определения газов в металле.

Для испытания применяют образцы различной формы.

На некоторых заводах при литье алюминиевых сплавов применяют цилиндрические отливки диаметром 75 мм и высотой 75 мм с массивной конической прибылью.

Удельный вес определяют взвешиванием обезжиренных образцов на аналитических весах.

Пробную отливку разрезают и по сечению определяют процент пористости в виде отношения площадей пористости и плотного металла. После взвешивания и определения удельного веса процент пористости отливок рассчитывают по отношению:

$$\frac{\text{Теоретическая плотность} - \text{фактическая плотность}}{\text{Теоретическая плотность}} \cdot 100.$$

Сущность способа заключается в том, что образец, вырезанный из пробных образцов, нагревают при температуре, при которой исключено проникновение газов из печного пространства в образец или выделение газов из образца. Газовая пористость, образуемая

после такой обработки, пропорциональна величине содержания водорода в сплаве.

Между степенью пористости образца и содержанием водорода в сплаве существует прямая зависимость (рис. 60 и 61).

В качестве нагревательной среды для алюминиевых сплавов применяется двуххромовокислый калий. Образцы из тонкого листового материала перед нагревом взвешивают на воздухе и в бензине. Вес образца 2—5 г. Желательная точность при определении плотности $\pm 0,001 \text{ г/см}^3$. Слой гидратных окислов предварительно счищают с поверхности образцов, которые затем быстро погружают в раствор двуххромовокислого калия. После выдержки в течение определенного времени образцы извлекают из ванны, охлаждают на воздухе, промывают в кипящей воде и вновь взвешивают.

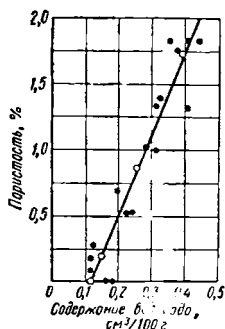


Рис. 60. Зависимость между истинным содержанием водорода в технически чистом алюминии и пористостью образца, отлитого в земляную форму

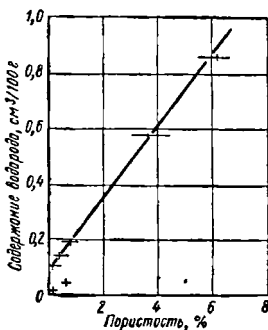


Рис. 61. Зависимость между истинным содержанием водорода в сплаве алюминия с 7% магния и пористостью образца после нагревания его в ванне из двуххромовокислого калия

Этот способ рекомендуется применять для определения пористости сплавов, в которых содержание водорода превышает $0,2 \text{ см}^3$ на 100 г сплава.

Метод затвердевания под разрежением или в вакуум-пробе основан на том, что объем образующихся пор сплава, кристаллизующегося под разрежением, больше того объема, который они занимали бы, если затвердевание сплава происходило бы при нормальном давлении.

Отобранная из печи стальным, предварительно подогретым тиглем, проба жидкого алюминия или его сплава помещается в гер-

металлический кожух, в котором создается разрежение, порядка 20—40 мм рт. ст. (2666—5332 н/м²). За состоянием поверхности металла в тигле во время затвердевания и интенсивностью выделения пузырьков газа наблюдают через специальное смотровое стекло (рис. 62). Если расплавленный металл сильно насыщен газами, происходит интенсивное бурление пробы в тигле, которое будет продолжаться и после начала затвердевания. Поверхность пробы будет иметь выпуклые очертания с возможным образованием на ней местных вздутий. Если расплавленный металл насыщен газами в меньшей степени, бурление происходит менее интенсивно и поверхность пробы становится менее выпуклой. Расплав, свободный от газов, не бурлит при выдержке под разрежением и поверхность пробы приобретает слегка вогнутое очертание, вследствие усадки.

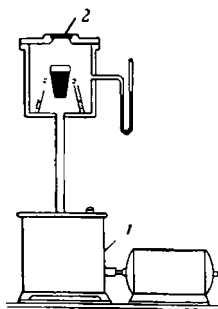


Рис. 62. Прибор для охлаждения под разрежением:

1 — насос, 2 — смотровое окно

сплавов достигаются при разрежении 20—40 мм рт. ст. (2666—5332 н/м²).

Испытания необходимо проводить при постоянной скорости охлаждения пробы.

Так, если производить подряд несколько испытаний, то кожух и отъемная крышка нагреваются, что может привести к следующим нежелательным последствиям:

а) тавот, которым промазаны поверхности соединения крышки с кожухом, становится более текучим и не исключается подсос воздуха под крышку;

б) охлаждение каждой последующей пробы происходит с меньшей скоростью.

При частом проведении испытаний стенки прибора и крышка охлаждаются влагой или воздухом.

По виду поверхности пробы, характеру и расположению пор (после распиловки пробы без дополнительной механической обработки плоскости разреза) определяется содержание газов в сплаве.

Надежность вакуумной пробы и достоверность результатов зависит от соблюдения режима регулирования скорости снижения давления и скорости охлаждения пробы.

Так, при слишком большом разрежении происходит чрезмерная дегазация пробы до ее затвердевания, и поэтому испытание выявит содержание газов ниже фактического. При недостаточном разрежении выделение газов при кристаллизации не выявится в полной мере. Опытным путем установлено, что наиболее достоверные результаты при испытаниях алюминиевых и магниевых

Этот метод, нашедший применение в научных исследованиях и в заводской практике под названием вакуум-пробы, подробно описан в работе И. Ф. Колобнева и М. Б. Альтмана*.

Наблюдение за поверхностью алюминиевых проб при затвердевании на воздухе — старый способ, хорошо известный практикам-литейщикам.

Металл при испытании заливают в сухую стержневую чашу, где он кристаллизуется. Пузырьки газа в процессе затвердевания поднимаются на поверхность и, удаляясь, оставляют след. Число пузырьков на единицу поверхности характеризует газонасыщенность сплава.

Осмотр свежего излома технологических проб в сопоставлении с эталонными образцами.

Неоднородный излом проб алюминиевомагниевого сплава, содержащего газ, имеет неравномерную окраску и грубо кристаллическую структуру.

На голубом сплошном фоне излома заметно выявляются характерные отдельные светлые включения, называемые «белыми хлопьями». Эти хлопья отчетливо различаются на изломе сплава, содержащего газ даже в небольшом количестве, и не обнаруживаются при просвечивании рентгеном.

По величине и характеру распределения их в изломе судят о приблизительном содержании количества газа в отливках, залитых в песчаные формы.

Крупнозернистая и камневидная структуры указывают на плохое качество сплава.

На рис. 63 представлен излом детали (корпусной отливки), отлитой в земляную форму из сплава АЛ13, на котором отчетливо видны «белые хлопья», выделяющиеся на общем темном фоне излома.



Рис. 63 Излом фланца пористой корпусной отливки, отлитой в земляную форму из сплава АЛ13, насыщенного газом

* И. В. Колобнев, М. Б. Альтман. Газовая пористость и методы борьбы с ней в алюминиевых сплавах. ИТЭН, Госплан СССР, 1948 г.

Вид изломов свидетельствует о значительном насыщении металла газом (рис. 64 и 65).

Рентгенопросвечивание и др. методы контроля образцов и деталей широко применяются в производственных усло-



Рис. 64. Фланец корпусной отливки из сплава АЛ13, пораженный поверхностной газовой пористостью

виях для контроля качества отливок из легких сплавов, так как позволяют без разрушения отливок определять их плотность, степень, характер и расположение пористости. Внутренние пороки сплавов выявляются рентгеновскими и γ -лучами, ультразвуковыми колебаниями или с помощью различных электронных устройств.



Рис. 65. Газовая пористость на поверхности машинной обработанного фланца корпусной отливки из сплава АЛ13

Поверхностные дефекты на отливках — газовые и воздушные раковины, рыхлоты, усадки, шлаковые и др. неметаллические включения и несплошности в виде холодных и горячих трещин — обнаруживаются различными способами: пропиткой маслом, люминесцентным контролем, травлением, просвечиванием рентгеновскими и γ -лучами.

В СССР действуют соответствующие инструкции по технике безопасности при работе с излучающими установками, а также правила по систематическому медицинскому обследованию обслуживающего персонала.

При контроле с помощью *ультразвуковых колебаний* в объект

вводится направленный поток колебаний сверхзвуковой частоты от специального генератора. Применяются частоты от 100 до 6000 кГц; потребная частота определяется состоянием поверхности, величиной зерна исследуемого материала и размерами пороков. Используются методы отраженных («эхо-метод») и проходящих (прозвучивание) колебаний.

В первом случае достаточно одна сторона объекта, во втором — необходим доступ к обеим сторонам объекта.

Способ пропитки маслом заключается в следующем: изделия после тщательной очистки погружают в горячее масло при температуре 140—160 °С и выдерживают около получаса. Затем их протирают и высушивают, после чего помещают во взвесь мела в воде, только в четыреххлористом углероде, либо мела в спирте. После просушки изделия оказываются покрытыми тонким слоем мела. Масло, затекшее в поверхностные трещины, выделяется наружу, выявляя тем самым местонахождение дефекта.

Люминесцентный контроль заключается в следующем: изделие покрывают слоем маслянистого люминесцирующего раствора («флюоресцентными чернилами»), затем поверхность протирается и рассматривается контролером в желтых очках в темном помещении в ультрафиолетовом свете. Люминесцентный раствор, попавший в поверхностные дефекты, под действием ультрафиолетового излучения начинает флюоресцировать, обнаруживая наличие и местонахождение дефекта.

Травление поверхности изделия соответствующим травителем позволяет вскрыть очень тонкие трещины (волосовины) и микропористость. Для контроля отливок из легких сплавов, в частности магниевых, успешным оказался водный раствор, состоящий из 15% бихромата калия и 2% уксуснокислого аммония, подогретый до 70—80 °С. Отливки погружали в раствор и выдерживали в течение 30 мин. После промывки в холодной воде, кратковременного погружения в горячую воду и сушки трещины и микропористость отчетливо выявлялись по своей желтой окраске.

Иногда глубина поверхностных дефектов определяется с помощью двух электрических контактов, соприкасающихся с поверхностью объекта. Если на поверхности нет поверхностных дефектов, то при передвижении контактов наблюдается постепенное падение потенциала, когда же контакты (щуп) обнаруживают на поверхности дефект, происходит резкое падение потенциала, величина которого соответствует глубине залегания дефекта. Этим методом можно выявлять трещины глубиной от 0,1 до 1,5 мм, если расстояние между контактами составляет 1,0 мм.

Количественные методы

Метод механического извлечения газов, содержащихся в порах литого и отработанного металла, путем свер-

ления является одним из самых ранних способов определения состава и количества газов.

Способ этот не позволяет получать точные количественные данные о содержании газов в металле, так как значительный объем газов может находиться в отдаленных от рассверловки участков отливок. Однако он дает полезные сравнительные данные для разных зон отливок и позволяет определять состав газов, содержащихся в порах этих отливок.

Газы, выделяющиеся из пустот отливок, собираются под укрепленным на сверле стеклянным колпаком и отводятся затем в обычный газоанализатор.

И. Ф. Колобневым разработан метод непосредственного определения состава газовых пузырей, находящихся в отливках.

Для этой цели им была предложена специальная вакуумная фреза (I рис. 66), соединенная с прибором для анализа газов. Вакуумной фрезой образец фрезеруется с таким расчетом, чтобы достигнуть максимального вскрытия пор и пузырей в условиях нормальной температуры для освобождения, отсасывания и анализа свободных газов.

Полученный при фрезеровании порошок без доступа воздуха поступает в высоковакуумную электропечь. Выделяющиеся при плавке этого порошка газы перекачиваются насосами в газосборник, где анализируются.

Содержание газа в порах и пузырях с достаточной точностью можно определить с помощью прибора (рис. 67) для анализа газов, содержащихся

в отдельных пузырях в деформируемых и термически обрабатываемых материалах. При высоте падения иглы, равной 125—150 мм, прокалываются довольно глубоко расположенные пузыри в алюминии и в других относительно легких металлах и сплавах.

Вакуумная экстракция является наиболее точным способом определения содержания газов в литых и деформируемых сплавах, но он весьма сложен и малейшая невнимательность может привести к ошибочным результатам, особенно в алюминиевых и магниевых сплавах.

Приборы для вакуумной экстракции, способные обеспечить высокую степень разгнания, состоят из двух частей: а) секции (обогреваемой электропечью или высокочастотным индуктором), в которой



Рис. 66. Вакуумная фреза И. Ф. Колобнев, соединенная с прибором для анализа газов

производится извлечение газов из образца, и секции, где производится анализ газов;

б) газоанализатора, в котором производится определение состава газовых смесей в малом объеме.

Прибор для экстракции водорода при температуре 800—900 С изготавливается из кварцевого стекла с внешним электрообогревом.

Аппарат для вакуумной экстракции водорода показан на рис. 68.

Способ восстановления путем вакуумной плавки в графитовом тигле или в атмосфере водорода. Нагрев образца производится в графитовом тигле токами высокой частоты или в графитовой спиральной печи.

Вертикальная камера (где производится экстракция) изготовлена из кварцевого стекла и охлаждается водой. В камере на графитовой подставке установлен графитовый тигель, термически изолированный слоем порошкообразного графита. Коническое отверстие в тигле перекрыто графитовым шариком, который приподнимается с помощью электромагнита при загрузке образца в тигель или измерении температуры его оптическим пирометром, находящимся в верхней части камеры. Разрежение в камере создается 4-ступенчатым ртутным насосом, присоединенным к камере с помощью коротких труб большого сечения, который направляет выделяющиеся газы в колбу, откуда они затем поступают в обычный газоанализатор.

Учитывая, однако, что некоторые сплавы могут при определенных температурах нагрева взаимодействовать с углеродом тигля и восстанавливать содержащиеся в них окисные включения, необходима разработка точной методики определения содержания газов с помощью вакуумной плавки для каждого сплава в отдельности.

Схема прибора для определения содержания кислорода в металлах путем восстановления в атмосфере водорода представлена на рис. 69.

Образец, помещенный в замкнутую систему, нагревается в атмосфере чистого водорода. Количество образующихся паров воды определяется путем измерения давления.

Камерой сгорания является прозрачная кварцевая трубка диаметром 25 мм, сообщаемая при помощи конусного уплотнения с

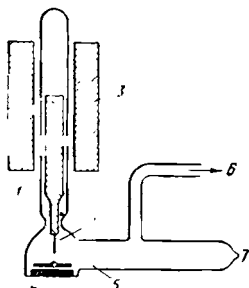


Рис. 68. Схема прибора для определения содержания кислорода в металлах путем восстановления в атмосфере водорода.

Схема прибора для определения содержания кислорода в металлах путем восстановления в атмосфере водорода. На рисунке изображена вертикальная кварцевая трубка (1), установленная на графитовой подставке (2). В трубку вставлен графитовый тигель (3), который может быть приподнят с помощью электромагнита (4). Газы, выделяющиеся из тигля, направляются по трубке (5) в колбу (6), откуда они поступают в газоанализатор (7).

системой из натрового стекла, в которой может быть создано разрежение порядка 0,001 мм рт. ст. (0,133 н/м²). Вся система, за исключением камеры сгорания, занимает очень небольшой объем.

Наиболее удовлетворительным материалом тигля является плавленный глинозем. Прибор очень несложен в обслуживании. После того как система нагреется до необходимой температуры, в нее подается водород под давлением 30—50 мм рт. ст. (4—6,6 кн/м²). Поворотом крана А камера сгорания заполняется водородом, в то время как в остальных частях системы поддерживается вакуум. Пары воды освобождаются путем удаления охлаждающей смеси и

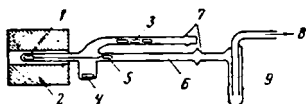


Рис. 68. Аппарат для вакуумной экстракции водорода:

1 — образец на кварцевой лодочке; 2 — печь; 3 — образцы и железный толкатель; 4 — дегазированные образцы; 5 — железный стержень для перемещения и поворота лодочки; 6 — кварцевая трубка; 7 — уплотнение; 8 — отвод газа вакуум-насосом; 9 — коллектор жидкого воздуха

давление измеряется манометром. Вода откачивается, в систему снова вводят водород из камеры сгорания и опыт повторяется до тех пор, пока остаточное количество пара не станет ничтожно мало. Тогда образец загружается в тигель (с помощью электромагнита) и начинается процесс восстановления.

Восстановление свинцовых сплавов ведется при температуре 600°C, а меди и медных сплавов — при температуре

1100—1150°C. В аппарате описанной конструкции давление паров воды, равное 1 мм рт. ст. (133,3 н/м²) эквивалентно 0,00004 г кислорода. С помощью этого прибора можно измерять содержание кислорода в сплаве от 0,0002% и выше с точностью ±4%.

Запасная колба 6 предназначена для измерения давления выше 10 мм рт. ст. (1333 н/м²). Перед проведением опыта рекомендуется поверхность образца тщательно зачистить напильником или острым ножом, но не обрабатывать ее кислотами.

Испарение образца можно сократить до минимума, если вести процесс восстановления в ванне, например, из расплавленного олова.

Стандартные методы химического анализа могут применяться для определения содержания газов в металлах и сплавах, но все они недостаточно точны и не представляют сколько-нибудь значительного практического интереса. Например, водород может быть определен путем полного сжигания образца в струе кислорода с последующим измерением количества образующихся при этом паров воды. Этим способом иногда определяется содержание водорода в магнии и магниевых сплавах.

Кислород в алюминии может быть определен после испарения металла в потоке сухого водорода по остатку окислов и т. д.

Способ определения при помощи вакуумной экстракции исходит смешивать с плавкой металла

под вакуумом, при которой исключается поглощение газов. Способ состоит в том, что расплав, приготовленный в обычных условиях, перед разливкой подвергается выдержке под разрежением.

Применение этого перспективного способа дегазации сплавов в производственном масштабе будет, вероятно, связано с некоторыми трудностями и дополнительными затратами.

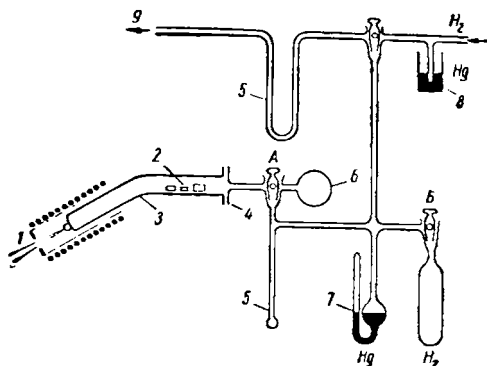


Рис. 69. Схема прибора для определения содержания кислорода в металлах путем восстановления в атмосфере водорода:

1 — платиновая трубчатая печь и термопара; 2 — образец и стальной толкатель; 3 — камера сгорания из кварцевого стекла; 4 — уплотнительное фланцевое соединение; 5 — конденсатор (-80°C); 6 — запасающая банка; 7 — манометрическая трубка 8—10 мм; 8 — выпуск набытка водорода; 9 — отвод к высоковакуумному насосу. А и Б — краны

Существует много различных конструкций приборов для вакуумного «плавления», которые в основном отличаются друг от друга типом применяемых печей и газоанализаторов.

Для нагрева металла применяются печи сопротивления и индукционные.

Существенным преимуществом последних является то, что они обеспечивают наилучшую дегазацию металла, вследствие перемешивания. Если раньше большее распространение имели приборы с газоанализаторами по принципу замера объемов газа при постоянном давлении, то в настоящее время они вытесняются приборами с чувствительными газоанализаторами, действующими по принципу замера давлений при постоянном объеме.

На рис. 70 показан прибор для вакуумного плавления конструкции ВИАМа с газоанализатором постоянного давления. Прибор состоит из печи сопротивления 1; трех насосов: масляного 2, лангмюровского 3 и капельного 4; манометра Мак-Леода 5.

газосборника 6; бюреты газоанализатора 7 и взрывной пипетки 8. Методика испытания алюминиевых образцов на этом приборе также подробно описана в работе П. Ф. Колобнева и М. Б. Альтмана. Прибор этот установлен в МАТИ и предназначен для определения содержания газов в алюминии и его сплавах.

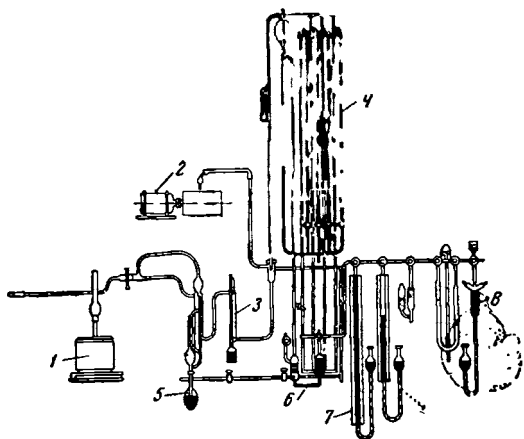


Рис. 70. Прибор для вакуумного плавления с газоанализатором постоянного давления конструкции ВИАМа

При испытании легких сплавов методом вакуумного плавления поверхность образцов тщательно обрабатывается — обтачивается со всех сторон и шлифуется. Для обезжиривания образцов некоторыми исследователями рекомендуется промывать их в чистом бензоле и просушивать при температуре 200 С.

Устойчивость окислов и нитридов создает большие трудности при определении кислорода и азота.

Температура плавления и давление диссоциации нитридов легких металлов приведены в табл. 40.

Как видно из таблицы, давление диссоциации нитридов весьма незначительно.

Для ускорения разложения нитридов и окислов испытываемые образцы плавят в графитовых тиглях. Углерод из графитовых тиглей способен растворяться в металлах и реагировать с окислами и нитридами металлов, ускоряя их разложение. Основной недостаток метода вакуумного плавления в применении к легким металлам — возможность окисления. В промышленности этот метод довольно

Температура плавления и давление
диссоциации нитридов легких металлов

Нитрид	Температура, °С при давлении мм рт. ст. и атм.				
	760 (10130°)	1,0 (133,3°)	0,1 (13,3°)	0,01 (1,33°)	0,001 (0,133°)
AlN	2230	1487	1374	1275	1187
Mg ₃ N ₂	—	1602	1472	1360	1260

редко применяется для алюминия и его сплавов и совсем не применяется для магния и его сплавов.

Метод определения содержания водорода в сплаве по первым пузырькам, выделяющимся при снижении атмосферного давления над металлом (метод Дардела-Гудченко) основан на законе зависимости растворимости водорода от давления, выражаемой формулой:

$$S = k \sqrt{p_{H_2}},$$

где S — растворимость газа;

k — постоянная, зависящая от температуры и свойств металла;

p_{H_2} — парциальное давление газа (водорода) в пузырьке.

Зависимость растворимости двухатомного газа от давления и температуры выражается формулой

$$S = m \sqrt{p} e^{\frac{-E_s}{2RT}},$$

где S — растворимость газа;

m и R — константы; (R — газовая постоянная);

p — парциальное давление газа;

E_s — теплота растворения;

T — абсолютная температура.

Растворимость выражается в см³ на 100 г металла при 0°С и 760 мм рт. ст (101 кН/м²).

Приведенные закономерности растворимости газов справедливы лишь в случае взаимодействия газов с чистой поверхностью металла. Наличие окисных или нитридных пленок на металле может изменять условия растворения.

Если поверхность металла покрыта пленкой, не проницаемой для растворенного водорода, то он может выделяться из металла лишь в молекулярной форме в виде пузырьков.

Давление водорода внутри пузырька определяется уравнением

$$p_{H_2} = p_s + p_m + \frac{2\sigma}{r},$$

где p_{H_2} — давление водорода в пузырьке;
 p_a — давление воздуха и газов над металлом;
 p_m — гидростатическое давление столба жидкого металла над пузырьком;
 σ — поверхностное натяжение;
 r — радиус пузырька.

Гидростатическое давление столба жидкого металла имеет значение только при глубоких ваннах. При испытании малых проб им можно пренебречь и считать, что

$$p_{H_2} = p_a + \frac{2\sigma}{r}.$$

Величина $\frac{2\sigma}{r}$, как показывают исследования, также очень мала и ею можно пренебречь, тогда

$$p_{H_2} = p_a,$$

т. е. давление в пузырьке будет равно давлению воздуха и газов над металлом. Отсюда следует, что определение давления воздуха и газов над металлом при появлении первого пузырька из плавки, может характеризовать давление водорода в металле.

Определение содержания водорода в легких сплавах по методу Дардела-Гудченко основано на равенстве условий равновесия давления газа в металле и в окружающей его газовой среде, т. е. равенстве величин парциального давления газа над расплавом и давления газа, растворенного в металле.

Момент выделения первого пузырька из расплава, т. е. момент, когда парциальное давление над расплавом будет равно давлению водорода внутри расплава, может быть отмечен при наблюдении за поверхностью расплава, и количество содержащегося в нем газа рассчитывается по приведенной формуле и значениям давления и температуры, при которых образовался пузырек. На рис. 71 показан прибор,

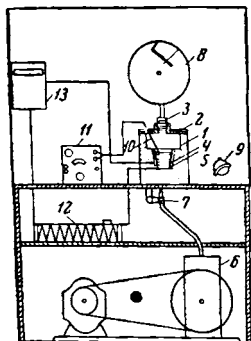


Рис. 71. Прибор Л. И. Сокольской для определения содержания газов в легких металлах по первым пузырькам при сниженном давлении:

1 — вакуумная камера; 2 — крышка; 3 — смотровое окно с перемещающейся линзой; 4 — тигель; 5 — электропечь; 6 — форвакуумный насос; 7, 9 — трех-ходовой кран; 8 — вакуумметр; 10 — химическая термостатическая камера; 11 — потенциометр; 12 — самопишущий потенциометр; 13 — регистрирующее устройство.

бор, разработанный Л. И. Сокольской для определения содержания газов в легких металлах по этому методу.

Метод экстракции ионной бомбардировки в вакууме осуществляется в разреженном пространстве вакуумной трубки при комнатной температуре. В трубке помещался образец металла в виде тонкого листа, подвергавшегося бомбардировке ионами и электронами.

Этот метод был применен для определения содержания газов в магнии, алюминии, железе, тантале, однако устойчивых результатов при испытании получено не было. Механизм дегазации — не ясен. Предполагается, что при бомбардировке освобождаются от газов поверхностные слои металла, газы же после этого диффундируют к поверхности металла и вновь удаляются.

Преимущество метода ионной бомбардировки заключается в том, что при анализе не разрушается образец. Но этот метод требует дальнейших исследований и усовершенствования.

.

ТЕХНОЛОГИЯ ПЛАВКИ И РАЗЛИВКИ МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ

§ 1. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ, СВОЙСТВА
И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Магний широко распространен в природе в виде химических соединений различного состава (хлоридов, сульфатов, карбонатов, силикатов, оксидов).

В чистом виде магний — металл серебристо-белого цвета. Температура плавления магния — 650°C , плотность при 20°C — $1,738\text{ г/см}^3$ ($17,9\text{ кн/м}^3$), а при 700°C — $1,572\text{ г/см}^3$ ($18,6\text{ кн/м}^3$), атомный вес — 24,32.

Магниеые сплавы находят все большее промышленное применение благодаря:

а) исключительно малому удельному весу, равному примерно 23% от удельного веса чугуна и стали или 65% от удельного веса алюминиевых сплавов;

б) прочностным свойствам, превышающим свойства литейных алюминиевых сплавов — высокой удельной прочности, способности противостоять ударным или вибрационным нагрузкам и высокому сопротивлению усталости;

в) хорошей обрабатываемости резанием.

Эти преимущества позволяют широко использовать магниевые сплавы в авиационной технике, приборостроении, авто- и мотоциклостроении, радиотехнике, оптике и др. отраслях промышленности.

В настоящее время применяются все виды литых из магниевых сплавов: в землю, в кокиль и под давлением. Химический состав первичного магния должен соответствовать нормам ГОСТ 804—62 (табл. 41).

Т а б л и ц а 41

Химический состав магния

Магний	Чистота, %	Примеси, %, не более							всего регламентированных примесей
		железо	кремний	фосфор	алюминий	марганец	хлор		
Mg	99,9	0,04	0,01	0,001	0,005	0,02	0,04	0,005	0,1

Примеси натрия в магнии не более 0,001%.

Магний с содержанием железа не более 0,04%.

Химический анализ магния должен производиться по ГОСТ 851—62.

Наибольшее промышленное применение нашли магниевые сплавы систем: магний — марганец и магний — алюминий — цинк.

Основной легирующей добавкой в магниевых сплавах является алюминий. Он вводится непосредственно в расплавленный магний в количестве до 10—11%, что благоприятно сказывается на свойствах сплава: увеличивается стойкость против окисления и самовозгорания, повышаются механические свойства (предел прочности, предел текучести и твердость), а также улучшаются литейные свойства.

Дальнейшее увеличение содержания алюминия способствует снижению механических свойств и увеличению хрупкости сплава. На рис. 72 показана растворимость алюминия в магнии. На рис. 73 изображена диаграмма состояния Mg — Si, из которой видно, что магний с кремнием дает соединение Mg_2Si (36,59% Si).

Диаграмма растворимости цинка в магнии показана на рис. 74. Добавка цинка в количестве до 5,5% способствует повышению механических свойств, но значительно расширяет интервал кристаллизации и ухудшает литейные свойства сплавов. Коррозионная стойкость их выше сплавов системы Mg — Al.

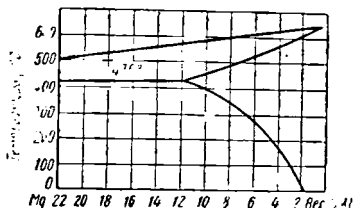


Рис. 72. Диаграмма растворимости алюминия в магнии

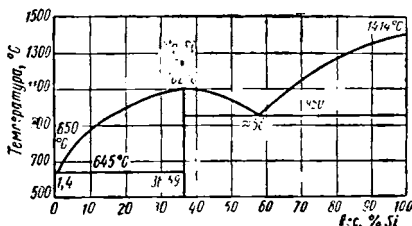


Рис. 73. Диаграмма состояния сплавов магний — кремний

На рис. 75 показана диаграмма состояния системы Mg — Zn, из которой видно, что магний с цинком дает следующие соединения: $MgZn$ (72,9% Zn), $MgZn_2$ (84,3% Zn) и $MgZn_3$ (93,07% Zn). Марга-

нец вводится в магниевые сплавы системы $Mg - Mn$, главным образом, для повышения их коррозионной стойкости (в количестве до 2—2,5%, а в сплавах системы $Mg - Al - Zn$ — от 0,1 до 0,5%).

Добавка до 1,5—2% Mn повышает механические свойства сплава, плотность отливок, улучшает свариваемость, но ухудшает жидкотекучесть и увеличивает горячиеломкость (при литье в землю и кокиль).

Вследствие высокой температуры плавления марганец рекомендуется вводить в сплавы в виде лигатуры $Al - Mn$ (с содержанием 5—10% Mn) или в виде хлористого марганца.

В отдельных случаях в магниевые сплавы вводятся небольшие добавки церия, циркония, бериллия. Никель, железо, медь и кремний относятся к числу вредных примесей магниевых сплавов. Химический состав литейных магниевых сплавов должен соответствовать требованиям ГОСТ 2856—55 (табл. 42).

Для сплава $Mn6$ устанавливаются факультативно следующие значения предела текучести $\sigma_{0,2}$: при термической обработке, по режиму Т4 предел текучести — 11 кг/мм^2 ($107,8 \text{ Мн/м}^2$); при тер-

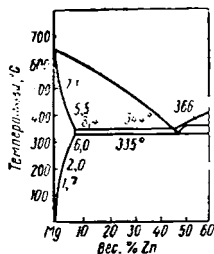


Рис. 74. Диаграмма растворимости цинка в магнии

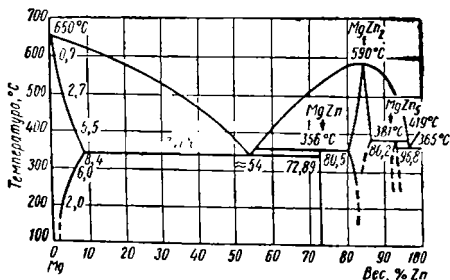


Рис. 75. Диаграмма состояния сплавов магний — цинк

мической обработке по режиму Т6 и Т61 — предел текучести — 14 кг/мм^2 (137 Мн/м^2). Показатели механических свойств при определении их на образцах, вырезанных непосредственно из отливок, устанавливаются стандартами или ведомственными техническими условиями.

Химический состав литейных магниевых сплавов, % (ГОСТ 3856-55)

Марка сплава	Основные компоненты					Максимальное содержание примесей, %
	алюминий	марганец	цинк	кремний	железо	
Мл1	—	—	—	1,0—1,5	—	до 0,05
Мл2	—	1,0—2,0	—	—	—	
Мл3	2,5—3,5	0,15—0,5	0,5—1,5	—	—	
Мл4	5,0—7,0	0,15—0,5	2,0—3,0	—	—	
Мл5	7,5—9,0	0,15—0,5	0,2—0,8	—	—	
Мл5пч	7,5—9,0	0,15—0,5	0,2—0,5	—	—	
Мл5он	7,5—9,0	0,15—0,5	0,2—0,5	—	—	
Мл6	9,0—10,2	0,1—0,5	0,6—1,2	—	—	

Примечание см. табл. 42

Примеси в %

Марка сплава	натрий	калий	магний	никель	медь	цинк	основные примеси, %
Мл1	0,2	—	0,15	0,01	0,15	0,2	0,7
Мл2	0,1	0,1	0,08	0,01	0,1	0,05	0,5
Мл3	—	0,25	0,08	0,01	0,1	—	0,5
Мл4	—	0,25	0,08	0,01	0,1	—	0,5
Мл5	—	0,25	0,08	0,01	0,1	—	0,5
Мл5пч	—	0,09	0,007	0,001	0,05	—	0,15
Мл5он	—	0,45	0,08	0,01	0,25	—	0,7
Мл6	—	0,25	0,08	0,01	0,1	—	0,5

Примечание. Для сплавов с общей суммой примесей до 0,05% берилий — в количестве до 0,01%, и кальций — в количестве до 0,1%.

Механические свойства сплавов

Марка сплава	Условные обозначения термической обработки	Предел прочности при растяжении, кг/мм ²	Относительное удлинение при $t=5d$, %	Твердость НВ при диаметре шарика 10 мм и нагрузке 1000 кг
		не менее		
Мл1	—	9	2	40
Мл2	—	9	3	30
Мл3	—	16	6	40
Мл4	—	16	3	50
Мл4	T4	22	5	50
Мл4	T6	23	2	60
Мл5	—	15	2	50
Мл5	T2	15	2	50
Мл5	T4	22	5	50
Мл5	T6	23	2	65
Мл5пч	—	15	2	50
Мл5пч	T4	22	5	50
Мл5пч	T6	23	2	65
Мл5он	—	15	2	50
Мл5он	T4	22	5	50
Мл5он	T6	23	2	65
Мл6	—	15	1	50
Мл6	T4	22	4	60
Мл6	T6	22	1	65
Мл6	T61	23	1	65

Примечания.

1. Условные обозначения видов термической обработки: T2—отжиг, T4—гомогенизация с закалкой на воздухе, T6—гомогенизация с закалкой на воздухе и старение, T61—гомогенизация с закалкой в воде и старение.

2. Показатели механических свойств сплава марки Мл2 не могут служить причиной браковки сплава.

Испытание на твердость производится по ГОСТ 9012—59, а определение предела прочности при растяжении и относительного удлинения — по ГОСТ 1497—61.

Определение химического анализа сплавов производится по ГОСТ 3240—56.

Механические свойства сплавов, определяемые на отдельно отлитых образцах, должны соответствовать требованиям, приведенным в табл. 43.

Магниево-алюминиевые сплавы имеют низкий удельный вес (1,74—1,92), что дает выигрыш в весе конструкции по сравнению с алюминиевыми сплавами примерно на 35%.

В зависимости от химического состава устанавливаются следующие марки магниевых сплавов в чушках MgC1, MgC2, MgC4, MgC5пч, MgC5он и MgC6 по ГОСТ 2581—62.

Химический состав магниевых сплавов в чушках должен соответствовать нормам, указанным в табл. 44.

Химический состав магниевых сплавов, %. (ГОСТ 2531-72)

Марка сплава	Основные компоненты			
	алюминий	цинк	марганец	медь
MgC1	—	—	1,8—2,5	—
MgC2	3,0—4,0	0,3—0,7	0,2—0,5	—
MgC4	5,6—6,8	1,2—3,0	0,2—0,5	—
MgC5пч	7,5—8,7	0,3—0,7	0,2—0,5	—
MgC5	7,5—8,7	0,3—0,7	0,2—0,5	—
MgC5он	7,5—8,7	0,3—0,7	0,2—0,5	—
MgC6	8,8—10,0	0,7—1,1	0,2—0,5	—

в % массе

Продолжение табл. 44

Марка сплава	Примеси в баллах						всего примесей в баллах
	алюминий	хром	железо	никель	медь	кадм	
MgC1	0,05	0,07	0,03	0,005	0,04	0,005	0,20
MgC2	—	0,10	0,03	0,005	0,04	0,005	0,18
MgC4	—	0,15	0,03	0,002	0,08	0,005	0,27
MgC5пч	—	0,06	0,005	0,001	0,02	0,005	0,09
MgC5	—	0,10	0,03	0,005	0,05	0,005	0,19
MgC5он	—	0,20	0,05	0,01	0,15	0,005	0,10
MgC6	—	0,15	0,05	0,005	0,08	0,005	0,27

Примечания

1. По согласованию сторон для приготовления магниевых сплавов допускается использовать сплавы марки MgC2 с содержанием меди не более 0,04%.
2. Для всех марок сплавов допускается содержание бора и кадмия до 0,001%.

Сплавы должны поставляться в виде чушек весом 8,0 - 1,0 кг. Допускается поставка сплавов в виде слитков. Форма, размеры и технические требования устанавливаются соглашением сторон.

Поверхность чушек должна быть чистой, без наплывов, неслитни, флюсовых включений и продуктов горения сплава.

В последнее время В. С. Астауловым, Е. И. Жегловым, В. М. Комиссаровым проводятся работы по применению магниевых сплавов повышенной чистоты, т. е. с минимальным содержанием железа (не более 0,005%), кремния (не более 0,06%), меди (не более 0,01%) и никеля (не более 0,001%). Такие сплавы, по свидетельству авторов, обладают химической стойкостью, во много раз превышающей стойкость сплавов обычной чистоты.

Одним из наиболее распространенных литейных магниевых сплавов является сплав Мг5. Он обладает высокими механическими и литейными свойствами, отличается малой окисляемостью и широко применяется при литье в землю, металлические формы и под давлением. Литейная усадка $1,1 \div 1,3\%$. Снижению окисляемости сплава в жидком состоянии способствует добавка бериллия в количестве 0,001—0,002%. Применяется при отливке деталей высокой нагруженности для самолетов, двигателей, агрегатов, деталей радиоаппаратуры, корпусов фотокамер и пишущих машин. Детали подвергаются термической обработке: закалке (Т4) или закалке и старению (Т6).

Сплав Мг1 отличается малым интервалом кристаллизации, вследствие чего не склонен к образованию усадочной пористости. Коррозионная стойкость низкая. Широкого практического применения не нашел, за исключением случаев отливки деталей простейшей конфигурации, требующих повышенной герметичности (плотности).

Сплав Мг2 является наиболее коррозионно-стойким по сравнению с другими магниевыми сплавами нормальной чистоты. Применяется для изготовления деталей несложной конфигурации, подвергаемых сварке и требующих повышенной стойкости против коррозии горловины бензобаков, детали бензомасляной арматуры и др.

Сплав Мг3 отличается высокой плотностью (в литом состоянии). Используется для изготовления деталей несложной конфигурации, требующих повышенной герметичности — корпуса полостей насосов, детали различной арматуры и т. п.

Сплав Мг4 обладает высокой коррозионной стойкостью и высокими механическими свойствами. Применяется для отливки деталей, подверженных значительным статическим и динамическим нагрузкам: детали двигателей автомобилей, корпуса приборов, аппаратов и инструментов.

§ 2. ШИХТОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ФЛЮСЫ И ИХ ПОДГОТОВКА К ПЛАВКЕ

В качестве исходных шихтовых материалов применяют чистые металлы, первичные сплавы, отходы собственного производства (прибыли, литники, выпоры, брак), предварительные сплавы и лигатуры.

Из чистых, первичных металлов применяются: магний чушковой марок: Мг1 и Мг2 (ГОСТ 804—62); алюминий чушковой марки не ниже А0 (ГОСТ 11069—64); кремний кристаллический марок: Кр0 и Кр1 (ГОСТ 2169—43) или кремний чушковой; силумины СИЛО и СИЛ1 (ГОСТ 1521—50); марганец металлический марок Мр1 и Мр2 (ГОСТ 6008—51); цинк чушковой марки не ниже Ц2 (ГОСТ 3640—65).

Лигатуры применяются двойные и тройные (табл. 45).

Т а б л и ц а 45

Лигатуры, применяемые при плавке магниевых сплавов

Лигатура	Содержание основных элементов, %	Температура плавления (ориентировочная)
Алюминиевобериллиевая (Al—Be)	Al=97—99 Be=3—5	700—800
Алюминиевомагниевобериллиевая (Al—Mg—Be)	Al=67—65, Mg=30, Be=3—5	600
Магниевомарганцевая (Mg—Mn)	Al=96—99 Mn=2—4	700—800
Магниевокальциевая (Mg—Ca)	Mg=75 Ca=25	550—600
Алюминиевомарганцевая (Al—Mn)	Al=92—88, Mn=8—12	770—830
Алюминиевомагниевомарганцевая (Al—Mg—Mn)	Al=70, Mg=20 Mn=10	700—800

Лигатура алюминий — бериллий может быть заменена фторбериллатом (по ЦМТУ 1801—46). Бериллий вводится в первичный сплав или в возврат из расчета 0,002% от свежих металлов, если они не содержат бериллия, для понижения окисляемости магниевых сплавов.

Возвраты собственного производства (прибыли, литники, выпоры, бракованные детали) подразделяются на 3 сорта:

I сорт — бракованные отливки, крупные и мелкие чистые выпоры, литники, коллекторы;

II сорт — переплав мелких отходов, всплески, стояки;

III сорт — переплав стружки, опилок и металла, извлеченного из шлака.

Возврат I сорта применяется в шихте без переплава в количестве до 80% от веса шихты.

Возврат II сорта используется в переплавленном виде в количестве до 40% от веса шихты (для ответственного литья — не более 30%).

Возврат III сорта применяют после предварительного переплава в чушки в количестве 25% от веса шихты (для ответственного литья — не более 20%).

Общее количество возврата II и III сортов не должно превышать 40% от веса шихты (для ответственного литья — не более 30%).

Для модифицирования магниевых сплавов применяется магнетит (ОСТ НКТП 4294—58) или мел марки А (ГОСТ 1498—64) с размером кусков не более 10—25 мм.

В качестве легирующего компонента применяется металлический кальций в количестве не более 0,1% (для повышения плотности литья, если поверхность, требующая уплотнения, не подвергается механической обработке).

Флюсы, применяемые при плавке магниевых сплавов, должны удовлетворять следующим основным требованиям:

1) флюс не должен вступать в химическое взаимодействие с магнием или с компонентами магниевых сплавов во избежание загрязнения магния примесями и его потерь, а также не взаимодействовать с футеровкой печи;

2) температура плавления флюса должна быть ниже температуры плавления магния и его сплавов;

3) жидкотекучесть поверхностного (защитного) флюса должна быть достаточно высока, чтобы покрыть всю поверхность расплава сплошным покровом (прочной и плотной пленкой, надежно предохраняющей магний от действия воздуха);

4) рафинирующий флюс должен обладать способностью легко удалять из расплава неметаллические включения (окислы и нитриды);

5) рафинирующий сплав должен быть тяжелее магния для лучшего отслаивания, т. е. удельный вес его в расплавленном состоянии при температуре порядка 750°С должен быть большим, чем удельный вес магния и его сплавов. Если флюс легче сплава, то при заливке в формы не исключено попадание его в отливки*;

6) быть дешевыми и недефицитными.

Кроме того, флюсы должны обладать некоторыми специальными свойствами в зависимости от метода плавки и разлива сплава.

* Для получения необходимого удельного веса флюса и надежного его отделения от расплава при оттаивании к основным компонентам добавляются легкие металлы (содержащие большее удельным весом), например: хлорид калия или хлористый кальций.

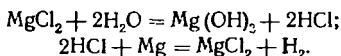
Так, при плавке сплава в стационарных тиглях, когда забор металла производится разливочными ковшами, флюсы должны:

- а) обладать достаточно высокой вязкостью, обеспечивающей отделение их во время зачерпывания и разливки сплава;
- б) образовывать даже после выстаивания защитный покров, достаточно эластичный, без корки.

Флюсы для плавки в выемных тиглях должны обладать способностью образовывать корку, которую можно отодвинуть от носка к задней стенке тигля при заливке сплава в форму.

Для образования плотной корки на флюсовый покров иногда добавляют соли с высокой температурой плавления: фториды кальция или магния.

Большинство флюсов, применяемых при плавке магниевых сплавов, содержат хлориды щелочных и щелочноземельных металлов. Попадание их в отливку, вызывает интенсивную коррозию в результате реакции хлористого магния с влагой и металлом отливки:



Поэтому необходимо, чтобы как рафинирующие, так и покровные флюсы содержали возможно меньше хлоридов.

Флюсы для промывки ковшей и инструмента должны обладать повышенной жидкотекучестью и хорошей рафинирующей способностью; они не должны налипать на стенки ковшей.

Составы флюсов, применяемых при плавке магниевых сплавов в стационарных и выемных тиглях в СССР, приведены в табл. 46.

Для приготовления флюса № 1 (натриевого) применяются следующие исходные материалы:

- а) хлористый магний плавленный (обезвоженный) с содержанием хлористого магния не менее 92%, примеси хлоридов калия и кальция не более 5%, прочих примесей (сернистый магний, окись магния и др.) не более 3%, влаги не более 3%;

- б) хлористый натрий (поваренная соль) II или III сорта по ГОСТ 153—41 с содержанием хлористого натрия не менее 98%;

- в) хлористый аммоний технический по ГОСТ 2210—43 с содержанием хлористого аммония не менее 97%.

Для приготовления флюса № 3 применяются следующие исходные материалы:

- а) карналлит соликамский безводный с содержанием хлористого магния не менее 40%, хлористого калия не менее 40%, примеси окиси магния не более 10%, примеси хлоридов натрия и кальция не более 8%, влаги не более 3%;

- б) плавиковый шпат с содержанием фтористого кальция не менее 85%;

- в) окись магния техническая с содержанием окиси магния не менее 92%, примеси + потери при прокаливании не более 8%.

**Составы флюсов, применяемых при плавке
магнєвых сплавов в тиглях (по В. В. Крымову)**

№ п/п флюса	Основные компоненты флюса	Вес, %	Назначение флюсов
1	MgCl ₂ NaCl	60 40	Для приготовления первичных сплавов из чистых металлов, для фасонного литья, переплавки отходов, промывки инструмента
2	MgCl ₂ KCl BaCl ₂ CaF ₂	38—46 32—40 5—8 3—5	То же
3	MgCl ₂ KCl BaCl ₂ CaF ₂	47 40 <8 5	»
4	MgCl ₂ KCl	43 —	Для переплавки стружки, промывки ковшей и инструмента Флюс легкоплавкий, жедкотекуч, обладает малым удельным весом
5	MgCl ₂ KCl CaF ₂	60 35 5	Для переплавки чистого магния, отходов и стружки, для промывки инструмента
6	MgCl ₂ KCl CaCl ₂	33 ± 5 38 ± 5 17 ± 3	Для переплавки магния и его сплавов в чушкѣ

По В. В. Крымову флюс № 1 изготовляют в стационарных стальных литых тиглях емкостью 200—250 кг металла, флюс № 3 — в стальных сварных тиглях емкостью 25—150 кг металла.

Приготовление флюса № 1 сводится к прокаливанию хлористого натрия при 400—500° С для удаления влаги, смешиванию 60 вес. ч. хлористого магния (плавленного, безводного) с 40 вес. ч. хлористого натрия с добавкой 1 вес. ч. хлористого аммония. Всю смесь загружают в тигель, предварительно нагретый до 300—400° С, расплавляют и нагревают до температуры 650—700° С и после выдержки в течение 10—15 мин. разливают в противни тонким слоем. Осадок окиси магния на дне тигля сливают отдельно и в дальнейшем производстве не допускают. После охлаждения флюс размалывают в шаровой мельнице и ссыпают в банки с герметически закрывающимися крышками или притертыми пробками. Приготовление флюса № 2 — аналогично приготовлению флюса № 3.

Флюс № 3 получают путем механического смешивания плавленного карналлита (70—75%) с плавиковым шпатом (15—20%) и окисью магния (5—10%).

Качество плавикового шпата определяют по содержанию в нем хлористого натрия. Окись магния подшихтовывается с таким

расчетом, чтобы содержание его во флюсе составляло 10%. Карналлит размалывают в шаровой мельнице. Если влажность его превышает 3%, то перед размолом его предварительно переплавляют. Карналлит, фтористый кальций и окись магния в соответствующих пропорциях тщательно перемешивают в шаровой мельнице.

Готовый флюс сыпают в банки с герметически закрывающимися крышками или притертыми пробками.

Для получения качественного литья из магниевых сплавов высокой коррозионной стойкости необходимо применять флюсы, проверенные в производстве.

В последнее время широкое практическое применение нашли флюсы марок ВИ2 и ВИ3.

Флюс ВИ2 предназначен для плавки магниевых сплавов в стационарных тиглях и является одновременно покровным и рафинирующим сплавом. Флюс ВИ3 предназначен для плавки магниевых сплавов в выемных тиглях. Для приготовления флюса ВИ2 используется флюс № 2, а для приготовления флюса ВИ3 — карналлит. Исходными материалами для приготовления этих флюсов служат:

Т а б л и ц а 47

Шихтовый состав флюсов, %

Марка флюсов	Исходные материалы, %			
	флюс №2	карналлит	фтористый кальций	окись магния
ВИ2	95,0	—	5,0	—
ВИ3	—	75,0	17,5	7,5

Т а б л и ц а 48

Химический состав, %

Марка флюса	Основные компоненты					Присутствие не более		
	хлористый магний MgCl ₂	хлористый кальций KCl	фтористый кальций CaF ₂	хлористый барий BaCl ₂	окись магния MgO	CaCl ₂ NaCl	частиц окисл. остатки	окись магния MgO
ВИ2	38—46	32—40	3—5	5—8	—	8	1,5	1,5
ВИ3	33—40	26—36	15—20	—	7—10	6	1,5	—

- а) бариевый флюс № 2 (сплав карналлита с хлористым барием);
б) фтористый кальций (флюоритовый концентрат)*;

* Фтористый кальций (флюоритовый концентрат) может быть заменен порошкообразным плавиковым шпатом с содержанием фтористого кальция не ниже 92% (ГОСТ 7167—54) I-го сорта. Фтористый кальций предварительно размалывается в шаровой мельнице или бегунах и просеивается через сито 01—2 мм.

- в) плавленный карналлит;
- г) барий хлористый (ГОСТ 742—41);
- д) окись магния — каустический магниевый I сорта (ГОСТ 4526—48).

Шихтовый и химический состав флюсов ВИ2 и ВИ3 приведен в табл. 47 и 48.

Процесс приготовления флюса ВИ2 заключается в механическом перемешивании порошкообразного фтористого кальция с порошкообразным флюсом № 2 с влажностью не более 3%. При содержании влаги более 3% его переплавляют для удаления влаги при температуре 600—650°С с выдержкой при его температуре до прекращения бурного кипения расплава. После чего сливают в железный противень слоем 50—60 мм.

Фтористый кальций (флюоритовый концентрат) просеивают через сито № 1—2 мм и отвешивают по расчету шихты флюса ВИ2.

Отвешенные составные части шихты перемешивают в закрытом смесителе или в мельнице в течение 20—30 мин. Полученный таким образом флюс ВИ2 пересыпают в плотно закупоривающуюся тару.

Флюс ВИ3 получают путем механического перемешивания в порошкообразном виде карналлита, окиси магния и фтористого кальция.

Размолотый безводный карналлит просеивают через сито № 1—2 мм и отвешивают по расчету шихты ВИ3. Карналлит с влажностью более 3% перед помолом переплавляют для удаления влаги по режиму, указанному для переплава увлажненного флюса № 2. Окись магния и фтористый кальций просеивают через сито № 1—2 мм и отвешивают по расчету шихты флюса ВИ3.

Отвешенные составные части шихты перемешивают в закрытом смесителе или в мельнице в течение 20—30 мин. Полученный таким образом флюс ВИ3 пересыпают в плотно закупоривающуюся тару. Результаты химического анализа фиксируют в специальном флюсовом журнале.

Готовые флюсы хранят в железной или стеклянной плотно закупоривающейся таре в сухом помещении. На каждой таре указывают марку флюса, дату приготовления и клеймо ОТК завода о годности.

§ 3. ПРИГОТОВЛЕНИЕ ПЕРЕПЛАВА ЛИГАТУР И ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ СПЛАВОВ

Переплав отходов магниевых сплавов производится строго по маркам. В зависимости от вида переплавляемых отходов устанавливается сорт переплава. Все отходы сортируются на следующие группы (по В. В. Крымову):

- а) отходы I сорта — брак деталей, чистые выпоры, литники и

б) отходы II сорта — всплески, стояки и остатки от литниковых чаш;

в) отходы III сорта — переплав стружки, опилок и металла, извлеченного из шлака.

Отходы I сорта могут применяться в шихте рабочего сплава без переплава.

Приготовление лигатуры Al — Be с содержанием 3—5% Be подробно изложено в главе IV.

Лигатура Al — Mn применяется для введения марганца во все магниевые сплавы, содержащие алюминий. Содержание марганца в них находится в пределах 8—12%. Температура плавления 770—830°С. Лигатуры с меньшим содержанием марганца обладают вязкостью, а лигатуры с большим содержанием марганца — тугоплавки. Приготовление лигатуры производится в графитовых тиглях соответствующей емкости. Процесс приготовления сводится к следующему.

Предварительно прокаленный графитовый тигель устанавливают в печь, а затем загружают алюминий. После расплавления его и перегрева до 800—850°С с поверхности расплавленного алюминия снимают шлак, после чего вводят мелко раздробленный марганец, предварительно подогретый до 700—800°С. Ванну тщательно перемешивают в течение 5—10 мин для получения лигатуры однородного химического состава. После растворения марганца производят рафинирование сплава обезвоженным хлористым цинком в количестве 0,1% от веса шихты.

После рафинирования тигель извлекают из горна, снимают с поверхности шлак, перемешивают и по достижении необходимой температуры (порядка 730—780°С) сливают металл в подогретые (до 120—200°С) изложницы слоем 5—25 мм (для удобства и обеспечения однородности состава).

Затем отбирают пробы для определения химического состава сплава.

Тройная лигатура Al — Mg — Mn применяется при плавке всех магниевых сплавов, содержащих в качестве основных составляющих алюминий. Тройная лигатура по сравнению с двойной обладает рядом преимуществ: большей хрупкостью, облегчающей измельчение и шихтовку лигатуры, более низкой температурой плавления и однородностью по составу. Как указывалось выше, тройная лигатура Al — Mg — Mn изготавливается в соотношении 70 : 20 : 10. Порядок приготовления: в подогретый тигель загружают алюминий, расплавляют и перегревают до температуры 850—900°С, после чего производят присадку марганца (предварительно измельченного и подогретого до температуры 700—800°С). Присадка марганца производится несколькими порциями и после тщательного перемешивания каждой последующей порции. Затем производят рафинирование сплава хлористым цинком, вводят половину всего расчетного количества магния и снова всю ванну тща-

тельно перемешивают. Во избежание горения магния, поверхность расплава покрывают порошкообразным флюсом или припыливают серным цветом.

Двойная лигатура Mg — Mn (2—4% Mn) применяется для приготовления магниевых сплавов, не содержащих алюминия (типа МЛ2). Порядок приготовления следующий: в железный тигель загружают металлический магний, расплавляют под слоем флюсов ВЛ2 или ВЛ3 и перегревают до температуры 770—790°С. Металлический марганец измельчают и просеивают через сито с диаметром отверстий 1 мм.

Просеянный через сито марганец смешивают с порошкообразным флюсом в соотношении 1 : 1. Полученную смесь вводят в расплавленный магний несколькими приемами и непрерывно перемешивают. После расплавления марганца с поверхности расплава снимают шлак и металл отстаивается в течение 10—15 мин. Затем ванну тщательно перемешивают и готовую лигатуру разливают по изложницам. Если вместо металлического марганца вводить хлористый марганец (предварительно просушенный и переплавленный), ванну перегревают до температуры 780—800°С и тщательно перемешивают. Поверхность металла присыпают порошкообразным флюсом. Затем снимают шлак и после отстаивания в течение 10—15 мин готовую лигатуру разливают по изложницам.

Двойная лигатура Mg — Si (5% Si) применяется для приготовления сплава МЛ1. Порядок приготовления: в железный тигель загружают сначала флюс, затем металлический магний (предварительно подогретый до 800—850°С) и мелкими порциями металлический кремний, измельченный в куски размером 10—15 мм, предварительно подогретый до 500—600°С. Ванну тщательно перемешивают. После расплавления кремния снимают шлак, поверхность расплава покрывают флюсом и снова перемешивают. Сплав выдерживают и разливают по изложницам (при температуре 750—800°С).

Для предупреждения возгорания струи металла ее припудривают серным порошком крупностью помола: серы не более 0,1 мм (ГОСТ 702—41) и борной кислоты (H_3BO_3) не более 0,2 мм (ГОСТ 2629—41), в соотношении 1 : 1 или серным цветом (дисперсной серой крупностью помола не более 0,1 мм по ГОСТ 702—41).

Стандартные магниевые сплавы, поставляемые заводами-поставщиками в готовом виде, называют *первичными сплавами*.

Сплавы, приготовленные из свежих (чистых) металлов и возврата в виде чушек, непосредственно на машиностроительных заводах называют *предварительными* или *готовыми*. Расплавы, предназначенные для последующего перелива в раздаточные печи, называют *промежуточными*. Сплавы, расплавленные и окончательно подготовленные для разливки в формы, называют *рабочими*.

Предварительный чушковой сплав применяется при плавке магниевых сплавов в тех случаях, когда требуется получе-

ние высококачественного рабочего сплава стабильного химического состава.

По наружному виду чушки предварительного сплава должны иметь чистую, светлую поверхность, а излом — мелкозернистый, без флюсовых и шлаковых включений.

Порядок приготовления предварительных и промежуточных сплавов в стационарных или выемных тиглях следующий: в нагретый до 500°C стационарный тигель загружают флюс ВИ2 в количестве 0,5—1,5% от веса шихты. Стенки и дно выемного тигля припыливают флюсом ВИ3. Подогретые до 120—300 С шихтовые материалы загружают в тигель в следующей последовательности:

а) при приготовлении предварительного сплава: возвраты, магниий, лигатура Al — Mg и алюминий;

б) при приготовлении промежуточного сплава: возвраты, первичные или предварительные сплавы.

Шихту расплавляют и подогревают до 760—780 С для сплава МЛ2 и до 700—720 С для сплавов МЛ3, МЛ4, МЛ5, и МЛ6.

После расплавления шихты в сплав МЛ2 вводят металлический марганец, предварительно подогретый до 800°C, или обезвоженный хлористый марганец: в сплавы МЛ3, МЛ4, МЛ5 и МЛ6 вводят металлический цинк, подогретый до температуры не ниже 120°C и лигатуру Al — Be или Al — Mg — Be.

При температуре 700—720 С производят рафинирование (при введении в сплав бериллия в виде фторбериллата натрия температура рафинирования повышается до 730—750°C). С поверхности металла подогретой ложкой снимают загрязнения, добавляют свежие флюсы ВИ2 и ВИ3 и ванну перемешивают в течение 3—5 мин. Расход флюса при рафинировании составляет примерно 1% от веса шихты.

Затем загрязненный флюс снимают и заменяют свежим. Сплав после отстаивания в течение не менее 15 мин сливают в изложницы, предварительно подогретые до температуры не ниже 120°C. Если металл в тигле загорается, то очаги горения присыпаются смесью серного цвета и борной кислотой в соотношении 1 : 1.

§ 4. ПРИГОТОВЛЕНИЕ РАБОЧИХ МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ

В последнее время для плавки магниевых сплавов все большее распространение получают индукционные печи промышленной частоты. В разогретый докрасна тигель загружают флюс № 2 и предварительно подогретые отходы. Сплав нагревают до температуры 700—720 С и тщательно перемешивают в течение 3—5 мин.

Во время перемешивания сплава поверхность зеркала металла присыпают сухим молотым флюсом ВИ2 или флюсом № 2. По окончании перемешивания снимают с поверхности металла шлак, на-

носят тонким слоем свежий флюс В112 или флюс № 2 и сплав отстаивается в течение 10—15 мин.

Отбирают пробу на спектральный анализ (от каждого тигля) и производят разливку при температуре 680—720 °С в предварительно окрашенные и подогретые до температуры 680—720 °С изложницы.

После разливки производят очистку тигля. Разливочные ковши предварительно промывают в промывочных флюсовых тиглях. В случае обнаружения шлаковых и флюсовых включений в чушках последние подлежат вторичному переплаву. Тугоплавкие металлы — марганец, кремний, бериллий и др. — имеют высокую температуру плавления, и введение их в сплав представляет значительные трудности.

Поэтому готовят промежуточные сплавы: двойные или тройные лигатуры, которые должны обладать следующими свойствами:

- а) однородностью химического состава;
- б) возможно большим содержанием тугоплавкого металла;
- в) возможно более низкой температурой плавления;
- г) хрупкостью для облегчения дробления ее на мелкие куски.

Плавку магниевых сплавов производят одним из следующих методов:

а) в стационарных тиглях;

б) в выемных тиглях;

в) комбинированным методом, являющимся сочетанием методов плавки в стационарных и выемных тиглях. Эти методы отличаются между собой только по способу разливки готового сплава.

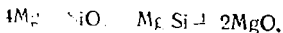
При плавке в стационарных тиглях разливку сплава производят разливочными ковшами емкостью до 15—20 кг, а при плавке в выемных тиглях — из того же тигля, в котором металл расплавляется.

При комбинированном методе металл предварительно расплавляют в стационарных тиглях, а затем переливают в выемные тигли.

После рафинирования и операций по измельчению структуры (модифицирования) тигли вынимают и направляют для заливки форм.

Рабочие сплавы готовят на основе промежуточных сплавов путем некоторой подшихтовки, модифицирования, рафинирования и выстаивания в раздаточных печах в стационарных или выемных стальных тиглях (литых или сварных). Графитовые или шамотные тигли для этой цели непригодны, так как содержащиеся в большинстве применяемых при плавке и разливке магниевых флюсов хлористые и фтористые соли щелочных металлов взаимодействуют с материалом тиглей и разъедают стенки последних.

Кроме того, магний, взаимодействуя с материалом графитового или шамотного тигля по реакции



образует силицид магния, который загрязняет сплав.

Приготовление рабочего сплава в стационарных стальных тиглях. Для нормального ведения комбинированного процесса плавки необходим блок печей: печь № 1 — скрапная для расплавления крупных отходов и бракованных отливок;

печь № 2 — раздаточная, в которую переливается жидкий сплав из печи № 1 после рафинирования при температуре 680—720° С;

печь № 3 — с флюсовым тиглем, в котором находится жидкий флюс, предназначенный для подогрева и промывки ковшей и инструмента. Температура флюса в нем поддерживается в пределах 700—780° С.

При небольших масштабах производства применение скрапного тигля не обязательно. Твердая шихта (чушки первичного или предварительного сплава, крупные отходы и бракованные детали) расплавляется непосредственно в раздаточной печи.

Тигель емкостью 200—250 кг нагревают до температуры темно-красного каления и загружают в него 20—25 кг кускового или жидкого натриевого флюса № 1 в количестве 10% от веса шихты.

Из скрапной печи тигель наполняют жидким сплавом примерно на 2/3 его емкости и догружают чушками предварительного сплава, подогретыми на борту печи до 120—200° С.

При плавке без скрапного тигля загрузку твердой шихты производят в следующей последовательности: чушки предварительного сплава, крупные отходы и бракованные детали. По достижении сплавом температуры 700—720° С производят рафинирование его путем интенсивного перемешивания железной мешалкой в вертикальном направлении в течение 5—7 мин и присыпание зеркала металла сухим молотым флюсом № 1.

Расход флюса составляет 1% от веса шихты. Затем температуру сплава повышают до 820—850° С и после выключения печи производят выдержку в течение 10 мин.

По достижении заданной температуры заливки (760—780° С) сплав сливают в ковш, предварительно нагретый во флюсовом тигле до красного каления, а зеркало металла в печи присыпают молотым флюсом № 1. Заливку производят равномерно, наклоняя ковш так, чтобы носок его находился возможно ближе к литниковой чаше или воронке стояка. При заливке струя металла опыливается смесью серы и борной кислоты в отношении 1 : 1 или серным цветом.

Остатки сплава из ковша сливаются в скрапный тигель или изложницу.

Приготовление рабочего сплава в выемных стальных сварных тиглях. В очищенный стальной тигель емкостью 25—150 кг после кратковременного подогрева засыпают молотый флюс № 3. Затем загружают шихту, пересыпают флюсом и печь включают. По мере расплавления шихты добавляют остаток ее и температуру металла доводят до 700—720° С. Затем с поверхности его снимают шлак, засыпают свежий флюс № 3

и производят рафинирование в течение 4—6 мин железной ложкой путем замешивания флюса сверху вниз. Рафинирование считается законченным, когда поверхность металла приобретает блестящий зеркальный вид.

С поверхности металла снимают остатки загрязненного флюса и берут пробу на спектральный или химический анализ.

Засыпают свежий флюс № 3 слоем толщиной 4—5 мм и строго следят, чтобы эта толщина слоя была равномерной по всей поверхности металла. Затем включают печь и температуру металла доводят до 870—920 °С в течение 10—20 мин.

Далее, выгружают тигель из печи и приступают к заливке, предварительно тщательно очистив носок тигля от окалины и отводя счищалкой флюсовой покров (корку) от носка тигля.

Во время заливки струя металла опыливается смесью серы и борной кислоты в отношении 1 : 1 или серным цветом.

Общий расход флюса при плавке и рафинировании составляет 3—4% от веса шихты. Допускается замена флюса № 3 флюсом № 1 после рафинирования порошкообразным фтористым кальцием или фтористым натрием.

Остаток сплава из ковша сливают в скрапный тигель или в изложницу.

Ниже в качестве примера приводится описание технологии приготовления рабочего сплава МЛ5 в стационарных и выемных тиглях.

При приготовлении рабочего сплава МЛ5 в стационарных тиглях применяют флюс ВИ2, в выемных тиглях — флюс ВИ3. Перед началом плавки ковш, ложки и другой инструмент промывают в расплавленном при температуре 750—800 °С крааллитовом флюсе № 2.

В предварительно подготовленный, нагретый до темно-красного кипения, тигель загружают порошкообразный флюс из расчета 0,1—0,25% от веса шихты. Расплавленный промежуточный сплав сливают примерно на 1/3 емкости тигля, после чего его догружают чушками первичного сплава (MgC5), подогретыми на борту печи до температуры не ниже 120 °С. При применении промежуточного сплава с освежением тигель заполняется полностью.

Сплав нагревают до температуры 700—730 °С, вводят бериллий и производят модифицирование магнезитом.

Магнезит предварительно дробят на куски до размеров 10 × 25 мм и просушивают при температуре 150—200 °С. Расход его составляет 0,25 — 0,3% от веса шихты. Вводят его в сплав в один прием при помощи колокольчика закрытого типа.

При модифицировании колокольчик погружается в металл примерно на половину высоты тигля. Продолжительность модифицирования 5—10 мин. При возникновении очагов горения поверхность металла засыпают сухим молотым флюсом. После модифицирования шлак снимают и поверхность расплава присыпают флюсом.

Вместо модифицирования магнезитом допускается применять модифицирование путем перегрева сплава до температуры 870—900°С при плавке в выемных тиглях и до 830—860°С — в стационарных тиглях с выдержкой при этих температурах 10—15 мин. После модифицирования при температуре 700—730°С сплав рафинируют путем интенсивного перемешивания в течение 3—5 мин. Поверхность металла при этом присыпают сухим молотым флюсом. Рафинирование считается законченным, когда поверхность металла приобретает блестящий зеркальный вид.

Расход флюса при рафинировании составляет около 1%, а при плавке и рафинировании — 3—5% от веса шихты.

По окончании рафинирования с поверхности металла удаляют шлак, отливают технологическую пробу и пробу для спектрального и химического анализа, присыпают свежим флюсом и сплав подогревают до температуры разливки. Перед разливкой сплав выставляется в течение 15 мин. Ковши перед разливкой промывают в тигле с флюсом № 2 и нагревают до температуры красного каления. Оставшийся флюс сливают через носок ковша. В процессе разливки необходимо следить за тем, чтобы флюс не попал в формы, не допускается задерживание более двух ковшей сплава подряд из одного тигля без присыпки флюсом зеркала металла. Последующий разбор сплава разрешается только через 3—5 мин. Присыпка флюсом поверхности металла в разливочном ковше не допускается, а в случае возникновения очагов горения последние могут быть потушены смесью серы и борной кислоты или серным цветом. При плавке в стационарном тигле разбор металла в ковше более 80% емкости тигля не разрешается во избежание зачерпывания шлака и флюса из тигля. Не реже чем через 48 ч работы и не более чем через 20 плавов (сливов) весь флюс из тигля вычерпывается и заменяется новым.

Заливка форм ковшами или тиглями производится плавно с припыливанием струи металла смесью серы и борной кислоты или серным цветом. Литниковые чаши или воронки должны заполняться равномерно и быть полными. Полученные отливки и образцы маркируются металлическими клеймами с указанием номера плавки.

§ 5. РАСЧЕТ ШИХТЫ МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ

В качестве примера приводим расчет лигатуры алюминий — магний — марганец.

Требуется изготовить 100 кг лигатуры следующего состава: алюминия — 70%, магния — 20% и марганца — 10%.

Исходные шихтовые материалы: алюминий чушковой первичный, магний чушковой первичный марки Mg, содержащий 99,9% Mg.

Принимаем угар элементов соответственно: алюминия — 3%, магния — 5% и марганца — 10% (с учетом неполноты растворения и ликвации).

Количество шихтовых материалов, на которое надо увеличить вес шихты для компенсации угара отдельных элементов, составит:

$$\frac{100 \cdot 70}{100} = 70 \text{ кг,}$$

с учетом угара

$$\frac{70 \cdot 100}{97} = 72,165 \text{ кг;}$$

магния

$$\frac{100 \cdot 20}{100} = 20 \text{ кг,}$$

с учетом угара

$$\frac{20 \cdot 100}{95} = 21,052 \text{ кг;}$$

марганца

$$\frac{100 \cdot 10}{100} = 10 \text{ кг,}$$

с учетом угара

$$\frac{10 \cdot 100}{90} = 11,111 \text{ кг.}$$

Таким образом, шихта для получения 100 кг тройной лигатуры будет состоять из:

	кг
Алюминия чушкового	72,165
Магния » 	21,052
Марганца » 	11,111
Всего	104,328

В качестве примера приводим расчет шихты для приготовления сплава МЛ5 из чистых металлов. Принимаем следующие исходные шихтовые материалы:

а) магний чушковой первичный, алюминий чушковой первичный, цинк чушковой;

б) лигатура алюминий-магний-марганец. Состав: 70% алюминия, 20% магния и 10% марганца;

в) лигатура алюминий-бериллий. Состав: 5% бериллия, алюминий — остальное.

Расчет ведем на 100 кг сплава.

Угар элементов: магния — 5%, алюминия — 3%, цинка — 2% и марганца — 10% (с учетом неполноты растворения и ликвации). Бериллий шихтуется по верхнему пределу, поэтому угар его не учитывается. Средний химический состав сплава МЛ5: Al = 8,7%, Zn = 0,5%, Mn = 0,35%, Be = 0,002%, остальное — магний.

Количество шихтовых материалов, на которое надо увеличить вес шихты для компенсации угара отдельных элементов, составит: Бериллия:

$$\frac{0,002 \cdot 100}{100} = 0,002 \text{ кг.}$$

При содержании бериллия в лигатуре 5% потребуется алюминиево-бериллиевой лигатуры:

$$\frac{0,002 \cdot 100}{5} = 0,040 \text{ кг (40г),}$$

в том числе бериллия 0,002 кг (2г) и алюминия:

$$0,040 - 0,002 = 0,038 \text{ кг.}$$

Цинка:

$$\frac{0,5 \cdot 100}{100} = 0,5 \text{ кг,}$$

с учетом угара:

$$\frac{0,5 \cdot 100}{98} = 0,510 \text{ кг.}$$

Марганца:

$$\frac{0,35 \cdot 100}{100} = 0,35 \text{ кг,}$$

с учетом угара:

$$\frac{0,35 \cdot 100}{90} = 0,388 \text{ кг.}$$

При содержании марганца в лигатуре 10% потребуется лигатуры:

$$\frac{0,388 \cdot 100}{10} = 3,88 \text{ кг.}$$

В лигатуре содержится алюминия:

$$\frac{3,88 \cdot 70}{100} = 2,71 \text{ кг.}$$

В лигатуре содержится магния:

$$\frac{3,88 \cdot 20}{100} = 0,776 \text{ кг.}$$

Алюминия:

$$\frac{8,7 \cdot 100}{100} = 8,7 \text{ кг,}$$

с учетом угара:

$$\frac{8,7 \cdot 100}{97} = 8,969 \text{ кг.}$$

С лигатурами алюминий — бериллий и алюминий — магний — бериллий вводится алюминия:

$$0,038 + 2,71 = 2,748 \text{ кг.}$$

Потребуется ввести чушкового алюминия в сплав:

$$8,969 - 2,748 = 6,221 \text{ кг.}$$

Магния:

$$100 - (8,7 + 0,5 + 0,35 + 0,002) = 90,448 \text{ кг.}$$

с учетом потерь на угар:

$$\frac{90,448 \cdot 100}{95} = 95,2 \text{ кг.}$$

В лигатуре алюминий — марганец, вводимый в сплав, содержится магния 0,776 кг. Таким образом, магния чушкового потребуется:

$$95,2 - 0,776 = 94,424 \text{ кг.}$$

Общая шихта будет состоять из:

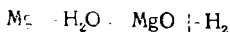
	кг
Магния чушкового	94,424
Алюминия	6,221
Цинка .	0,510
Лигатур:	
алюминий—магний — марганец .	3,88
алюминий—бериллий	0,040
Всего	105,075

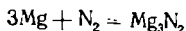
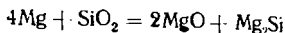
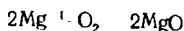
§ 6. ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПЛАВКИ И РАЗЛИВКИ МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Магниеые сплавы активно взаимодействуют с кислородом, водяным паром, углекислым газом, окисью углерода, сернистым газом, образуя окись магния. Особенно быстро реагирует магний с влагой формы (в результате воздействия жидкого сплава на материал формы и выделения большого количества газов за счет испарения влаги, разложения защитных присадок в формовочных и стержневых смесях, выгорания связующих материалов), а также с кислородом и азотом воздуха, содержащимися в порах формы.

В зонах наиболее высоких температур магний реагирует даже с кремнеземом формы.

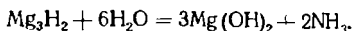
В результате возникают экзотермические реакции с образованием окиси магния и свободного водорода, нитрида магния и силицида магния с выделением значительного количества тепла, что может привести к загоранию отливки. Возможны следующие реакции:





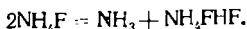
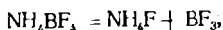
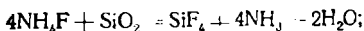
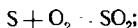
В жидком магнии и его сплавах нитрид магния находится в твердом состоянии и располагается по всему объему, так как удельный вес его почти равен удельному весу магния в жидком состоянии.

Магниевый сплав в твердом состоянии с включением нитридов магния обладает пониженными коррозионными свойствами, так как нитрид магния легко реагирует с водой по реакции:

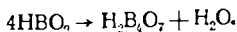


Для предотвращения взаимодействия расплавленного металла с влагой в состав формовочных смесей вводят различные защитные присадки: фтористые, содержащие фторборкислый аммоний, кислый фтористый аммоний и фтористый аммоний, а в стержневые — серу и борную кислоту.

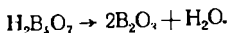
Назначение серы — создание в форме восстановительной атмосферы паров серы и двуокиси серы, а борной кислоты — ослабление химического контакта (взаимодействия) металла с формой. При разложении защитных присадок, вводимых в формовочные смеси, возможны реакции:



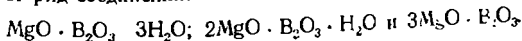
Борная кислота (H_3BO_3) при нагревании теряет влагу и переходит в метаборную кислоту HBO_2 . метаборная кислота при нагревании переходит в пироборную кислоту:



Пироборная кислота, теряя воду, превращается в борный ангидрид:



Борный ангидрид при повышенных температурах легко растворяет многие окислы металлов. С окисью магния борный ангидрид образует ряд соединений:



а при наличии других оксидов металлов — более сложные соединения. Таким образом, переход при нагревании борной кислоты в борный ангидрид связан с растворением оксидов и образованием легкоплавких соединений на границе соприкосновения сплава с формой.

Процесс защиты магниевых сплавов от окисления объясняется:

а) химическими реакциями между компонентами присадок и продуктами окисления магния или самим магнием, способствующими образованию защитных пленок;

б) разложением компонентов присадок, образующих газообразные продукты и создающих газозащитный слой между сплавом и веществом, оказывающим окислительное действие на магний;

в) взаимодействием продуктов разложения компонентов присадок с материалом форм, образующих тонкую оболочку, препятствующую проникновению газов в сплав.

Использование в качестве защитных присадок фтористых или других соединений без борной кислоты неизменно приводило к ухудшению защитного действия присадок и воспламенению сплава в форме. Поэтому борная кислота является основой защитного действия различных присадок при литье магниевых сплавов.

Дегазация и рафинирование магниевых сплавов осуществляется преимущественно хлором или смесью хлора с четыреххлористым углеродом.

В отличие от инертных газов, пузырьки хлора, проходя через расплав, реагируют с магнием, образуя хлористый магний.

При температуре ниже 715°C образующийся хлористый магний, находясь в твердом состоянии, не создает сплошного покрова на поверхности расплава, вследствие чего возможно окисление и загорание сплава.

При температуре выше 760°C происходит энергичная реакция образования MgCl_2 и разжижение флюса, что увеличивает возможность попадания флюсовых включений в отливку.

Поэтому температура сплава при хлорировании не должна превышать $720\text{—}740^{\circ}\text{C}$. Хлор продувается через сплав со скоростью, вызывающей перемешивание сплава без выплескивания. Расход хлора составляет 3% от веса сплава.

При расходе хлора выше 3% происходит огрубление (укрупнение) зерна сплава и снижение механических свойств.

Иногда дегазация хлором совмещается с операцией модифицирования сплава. В этом случае через сплав продувают хлор вместе с четыреххлористым углеродом в количестве 1,0—1,5% и 0,25% соответственно от веса плавки.

Температура сплава при дегазации $690\text{—}710^{\circ}\text{C}$.

Опыты, проведенные М. В. Шаровым и В. М. Гудченко по совместной обработке сплава 3% Cl и 0,15% CCl_4 от веса плавки в течение 10 мин при температуре 750°C , дали положительные результаты.

Все же дегазация магниевых сплавов хлором или смесью хлора с четыреххлористым углеродом имеет ряд недостатков, из которых наиболее серьезным является токсичность хлора и опасность отравления им рабочих, что обуславливает необходимость принятия специальных защитных мер. Кроме того, использование хлора с четыреххлористым углеродом связано с образованием некоторого количества фосгена — сильного отравляющего вещества. Отсюда следует, что процесс дегазации магниевых сплавов окончательно не разработан.

Очистка магниевых сплавов методом фильтрации рекомендована В. П. Сальниковым и А. Г. Спасским. В качестве материала фильтра для фильтрования магниевых сплавов от флюса и окислов после многочисленных испытаний с графитом, малоуглеродистой сталью, пиритом (FeS_2), шамотовым и магнезитовым огнеупором, плавленной смесью солей (52% CaF_2 и 48% MgF_2) и др. был выбран магнезитовый огнеупор, как обладающий, вследствие пористости, большой поверхностью и хорошей смачиваемостью флюсом.

При разработке нескольких конструкций фильтров предусматривалось, что фильтр не должен быть громоздким, располагаться близко к отливке (во избежание загрязнения и окисления фильтрованного расплава), расплав должен протекать через все сечение фильтра без окисления и охлаждения и не разбрызгиваться при выходе из фильтра.

Фильтр изготовлялся из железного или графитового (наполненного фильтрующим материалом) стакана, в дне которого или по бокам несколько выше дна просверливалось несколько отверстий.

Фильтр нагревался до температуры близкой к температуре заливаемого сплава и устанавливался над литниковой системой или непосредственно в самой системе.

Фильтровались сплавы типа МЛ4, МА8, МА2 и др. при различных температурах.

Результаты показали, что фильтрованные сплавы чище нефильтрованных в среднем примерно в 3 раза.

Кроме того, фильтрование магниевых сплавов через активные флюсы показало, что оно является весьма эффективным средством повышения коррозионной стойкости и снижения загрязненности сплавов окисными включениями.

Устройство и обслуживание фильтров не требует значительных затрат и успешно может быть применено при производстве качественных отливок.

Фильтры должны удовлетворять следующим требованиям:

- а) химически не взаимодействовать с компонентами сплава и не растворяться в сплаве;

- б) обладать более высокой температурой плавления, чем температура заливки сплава;

- в) не выделять газов, ведущих к газонасыщению и окислению сплава;

- г) обладать большей смачиваемостью флюсом, чем расплав;
- д) быть дешевыми и недефицитными.

Фильтры, удовлетворяющие этим требованиям, достаточно надежно обеспечивают отделение от жидкого металла остаточных флюсов и окисных включений.

§ 7. ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПЛАВКЕ И РАЗЛИВКЕ МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Магний и его сплавы, как уже отмечалось, обладают повышенной склонностью к окислению, которая увеличивается с ростом температуры.

Магний и его сплавы в зависимости от состава загораются на открытом воздухе при температуре 400—500°C и горят ослепительно белым светом с выделением большого количества тепла и дыма (сплав МЛ5 воспламеняется при температуре 400—430°C, сплав МЛ4 — при температуре 400—410°C). Сухая пыль магния и его сплавов воспламеняется со взрывом при температуре 400—480°C, влажная пыль — при температуре 360—380°C.

Тушить водой или пенными огнетушителями загоревшиеся сплавы не разрешается, так как может произойти взрыв. Дело в том, что при взаимодействии магния с водой выделяется водород, присутствие которого опасно, вследствие образования с кислородом воздуха гремучего газа. Гремучий газ образуется при содержании водорода в количестве свыше 9%.

Вот почему при отливке деталей из магниевых сплавов должны быть соблюдены специальные меры предосторожности и, в первую очередь, меры противопожарной безопасности.

Для предупреждения воспламенения (загорания) сплава используют различные защитные флюсы, присадки, припылы.

В качестве флюсов применяются соли, содержащие хлориды и фториды щелочных и щелочноземельных металлов.

В формовочные и стержневые смеси вводятся специальные защитные присадки, содержащие фтористые и сернистые соединения. Универсальным средством для тушения горящего магния и его сплавов является сухой молотый флюс, применяемый при плавке магниевых сплавов. Пожарный запас этих флюсов должен постоянно находиться на рабочих местах и храниться в герметичной таре. Иногда с этой целью для тушения магниевых сплавов при механической обработке применяются специальные патроны, заряженные молотым флюсом.

Помещение, где производится плавка и заливка магниевых сплавов, должно быть изолировано огнестойкими стенами и иметь огнестойкие (металлические) перекрытия. К каждой плавильной печи должен быть обеспечен свободный доступ и запасной выход на случай пожара. Пол около печей должен быть выложен рифлеными чугунными плитками.

Хранение у печей опилок и стружки не допускается.

Подробные сведения и инструктивные указания по технике безопасности и производственной санитарии при работе с магниевыми сплавами (плавке, изготовлении и заливке форм, отделочных операциях, сварке, термической обработке, хранении исходных материалов, отходов и готовых изделий) приведены с исчерпывающей полнотой в книге В.В. Крымова «Техника безопасности и производственная санитария при работе с магниевыми сплавами», Оборонгиз, 1955 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Характерной особенностью современного машиностроения является повышение мощности, быстроходности, прочности и надежности в работе деталей узлов машин и механизмов в сочетании с уменьшением их веса. В связи с этим резко возрастают требования к деталям машин, подверженных значительным ударным нагрузкам или работающим в условиях агрессивных сред и высоких температур.

Возросли требования и к литым деталям из разных сплавов в отношении их прочности, герметичности, коррозионной стойкости, жаростойкости и других свойств. Во многих случаях было бы невысказано изготовление таких деталей без применения цветных металлов или их заменителей. Выпуск отливок из цветных сплавов в СССР до последнего времени составлял около 4% от выпуска литых деталей из черных металлов. Однако в последующие годы он должен резко возрасти.

Как ранее указывалось, из общего объема цветнолитейного производства на долю медных сплавов приходилось примерно 25%, алюминиевых—68%, магниевых—3%, цинковых—4%.

Доля выпуска отливок из цветных металлов и сплавов, особенно алюминиевых, должна резко возрасти в самые ближайшие годы в несколько раз, так как замена черных металлов цветными из легких сплавов будет иметь огромное народнохозяйственное значение.

Более половины деталей современных машин и механизмов производится из отливок. И это экономически оправдано. Изделия, изготовленные методом литья, обходятся значительно дешевле, чем из проката. Общий коэффициент использования металла при изготовлении деталей из проката составляет 0,39, а из отливок — 0,58. При обработке заготовок из проката и поковок, выход металлической стружки составляет ~ 40—50%, а из отливок—10—14%.

Намечено более широкое внедрение профильного проката, сварнолитых и штампованных конструкций, применение деталей из пластмасс и легких сплавов, разработка более рациональной конструкции отливок и других мероприятий, заметно улучшающих технико-экономические показатели работы литейных цехов. Генеральное направление в совершенствовании технологии машиностроения заключается теперь уже не столько в повышении произво-

длительности металлорежущих станков, сколько во внедрении в литейном производстве новых, прогрессивных технологических процессов, обеспечивающих получение (формообразование) отливок, максимально приближающихся по своим размерам, конфигурации и чистоте поверхности к готовым деталям машин с резким сокращением (вплоть до снятия отделочных операций) или полным исключением механической обработки.

К числу наиболее эффективных способов литья, обеспечивающих получение высокоточных отливок, относятся специальные виды литья (по выплавляемым моделям, в оболочковые формы, центробежное, под давлением с применением вакуума, в кокиль, всасыванием, выжиманием, в гипсовые формы, жидкая штамповка и др.).

Быстрейшее внедрение этих прогрессивных способов литья должно содействовать повышению производительности труда, снижению трудоемкости, увеличению выхода годного и резкому уменьшению отходов металла в стружку.

Дальнейшее развитие машиностроения и приборостроения неразрывно связано с изменением техники и технологии формообразования заготовок. Резкое повышение коэффициента использования металла является одной из важнейших задач, стоящих перед работниками промышленности.

Ожидаемая экономия только лишь за счет ликвидации отклонений от фактического веса отливок в пределах 3—5% составит около 0,5—1 млн. т литья в год по всем видам металлов.

Уменьшение стружкообразования с 13—14 до 7—10% позволит дополнительно увеличить выпуск машин, станков, тракторов, турбин, приборов. Отличительные особенности технологии приготовления различных цветных металлов и сплавов обусловлены не только различием их физико-химических и физико-механических свойств, но и специальными требованиями, предъявляемыми к ним.

В связи с этим возникают подчас весьма сложные технические и производственные трудности, от успешного преодоления которых зависит бесперебойность, ритмичность и рентабельность литейного производства.

С точки зрения технологической и экономической целесообразности способа приготовления сплавов разных составов, решающее значение имеет рациональный выбор состава шихты, с учетом необходимых свежих чушковых металлов, максимально допускаемого использования отходов собственного производства, предварительных вторичных сплавов и пр. Однако при этом должна учитываться и экономическая сторона вопроса.

Не менее важное значение имеет правильный выбор конструкции плавильного агрегата для приготовления сплавов разных составов, особенно в цехах с крупносерийным характером производства. Так, например, для приготовления алюминиево-магнелиевых сплавов с высоким содержанием магния не могут быть использованы высокопроизводительные пламенные отражательные печи, так как угар

в них, ввиду легкой окисляемости сплавов, чрезмерно велик. В одинаковой степени это относится и к отражательным электропечам сопротивления, так как металлические элементы сопротивления быстро разрушаются флюсами, под покровом которых выплавляются магнийсодержащие сплавы.

На современном уровне литейного производства, постоянно обогащающегося новинками литейной техники, каждый из прогрессивных способов литья должен найти свою заранее определенную, экономически оправданную сферу применения, исходя из местных условий производства.

При этом, разумеется, должны быть учтены не только технико-экономические обоснования организации и освоения нового производства, но и возможности наиболее полного использования его резервов. Задача технологов-литейщиков и заключается в выявлении и реализации этих резервов, и в первую очередь, в цветнолитейных цехах, так как цветные металлы и сплавы являются, как известно, наиболее дефицитными и дорогостоящими и экономия их в заготовительных и металлообрабатывающих цехах имеет огромное народнохозяйственное значение.

Ниже приводятся несколько примеров реализации резервов в цветнолитейном производстве и экономии цветных металлов в машиностроении.

Установившаяся в настоящее время технология изготовления отливок из цветных металлов и сплавов обеспечивает средний выход годного лишь в размере 50—65% от веса металлозавалки.

Основной причиной сравнительно низкого выхода годного литья является непомерно большой расход жидкого металла на прибыли, достигающие в отдельных отливках 150% и более, а в среднем — около 30% от веса металлозавалки.

В практике отечественных и зарубежных литейных цехов наибольшее распространение получили следующие способы улучшения работы прибылей:

а) заливка обычных (открытых) прибылей и выпоров металлом из ковша (пропитка металлом);

б) утепление прибылей путем засыпки экзотермическим составом типа термита, способным при температуре жидкого металла развивать экзотермические реакции со значительным выделением тепла;

в) применение тепловой изоляции (термоизоляции) поверхности прибыли сухим песком, горелой землей, древесным углем, шлаком и др.;

г) применение легкоотделяемых (отламывающихся) прибылей с днафрагмой, а также прибылей, действующих под атмосферным, воздушным (компрессорным) или газовым (сверхатмосферным) давлением;

д) экзотермический обогрев прибылей втулками или стаканами из экзотермических смесей и др.

Эффективным методом снижения расхода металла при производстве всех видов литья является обогрев прибылей экзотермическими смесями, который позволяет уменьшить размеры обычных прибылей в 2—5 раз и соответственно повысить выход годного до 70—75%.

Сущность способа заключается в том, что полость формы, образующая прибыльную часть отливки, облицовывается вместо обычной формовочной смесью специальными смесями, состоящими, в основном, из железоалюминиевого термита и замедлителей реакции окисления алюминия. При заливке форм экзотермическая облицовка медленно сгорает, выделяя большое количество тепла, и поддерживает металл в прибылях более длительное время в жидком состоянии в течение всего периода затвердевания отливки. Эффективность способа особенно проявляется на отливках с массивными узлами, требующих простановки массивных прибылей.

Одним из важных резервов экономии цветных металлов и сплавов является изготовление биметаллических изделий новым гальванодиффузионным способом, который заключается в следующем.

Заготовки стальных и чугуновых деталей подвергают механической обработке до получения чистоты поверхности 6. Подготовку поверхности деталей под гальваническое покрытие производят, как обычно, путем обезжиривания и промывкой. На подготовленную к покрытию поверхность наносят гальваническим путем (в ванне обычного состава) подслои никеля толщиной 15—20 мк, после чего производят меднение в кислой ванне с нанесением медного слоя, толщина которого определяется в зависимости от назначения и условий работы деталей, а также с учетом необходимого припуска на механическую обработку.

После этого детали загружают в ящики и равномерно засыпают диффузионной смесью. Крышки ящиков обмазывают глиной, затем производят нагрев в обычной термической печи при температуре 800—820° С с выдержкой в течение 6—8 ч.

Биметаллические отливки с диффузионной связью широко применяются при изготовлении теплообменников, форкамер дизелей, тормозных барабанов, цилиндров двигателей воздушного охлаждения, зубчатых колес, бытовых приборов и пр. Во всех случаях достигается значительная экономия дефицитных металлов и сплавов. Биметаллические отливки в ближайшее время займут достойное место в промышленности.

Для замены содержащих олово баббитов Б83, Б16 и др., а также кальциевого баббита БК, широко распространенного в железнодорожном транспорте, применяется заменитель — свинцовистый баббит марки БС1, содержащий 18—21% сурьмы, 0,5—1,5% меди, 0,5—1,0% мышьяка, остальное свинец.

Этот баббит дает значительно меньший угар при переплаве, чем кальциевый баббит БК.

Добавка сурьмы к чугуны марок Ст 15-32, Ст 18-36 и др. повышает его антифрикционные свойства, измельчает структуру и делает эти чугуны пригодными для замены бронзы и баббитов. Применение специальных флюсов, например криоллита, при плавке алюминиевой бронзы АЖ 9-4 в количестве 0,1—0,2% от веса металлической части шихты делает шлаки более жидкоподвижными и хорошо отделяющимися от металла. Потери меди при этом сокращаются в 2,5 раза.

На Ленинградском заводе «Русский дизель» и на других заводах взамен дорогостоящих оловянистых бронз для антифрикционных деталей применяется сурьмяноникелевая бронза СУМ7-2, что позволило снизить себестоимость деталей на 45%. Хорошим заменителем бронз, баббитов и латуней является сплав алькусит, содержащий $Cu = 1,5-5,5\%$, $Pb = 2,5-3,5\%$, $Si = 0,1-0,2\%$ и $Fe = 0,3-0,5\%$, Al — остальное.

На одном из заводов сальниковые элементы газовых компрессоров, ранее изготовлявшихся из бронз марок Бр.ОФ10-1 и Бр.ОЦС6-6-3, были заменены биметаллом, в результате чего расход цветного металла сократился на 90%, а прочность конструкции повысилась. В качестве заменителей бронз широко применяются цинковые антифрикционные сплавы ЦАМ10-5, ЦАМ4-1, получившие распространение в автомобильной и других отраслях промышленности.

Подшипники, изготовленные из этих сплавов, способны выдерживать большие ударные нагрузки и повышенные скорости.

Для замены оловянистых бронз марок Бр.ОЦС5-5-5 и Бр.ОЦС4-4-17 служит цинковый сплав ЦАМ9-1,5, который прирабатывается быстрее и имеет незначительный износ. Наряду с развитием цветной литейной промышленности должна проводиться работа по всемерной экономии цветных металлов и сплавов в тех отраслях промышленности, где это практически возможно.

Все шире в производстве машин, приборов и оборудования применяются неметаллические материалы (пластмассы), но темпы внедрения деталей и изделий из пластмасс в машиностроении пока все еще недостаточны, что объясняется некоторыми весьма устаревшими техническими тенденциями и конструктивными решениями.

Немаловажное значение для замены легированных сталей и цветных металлов и сплавов имеет каменное литье.

Изделия из литого базальта применяются во многих отраслях народного хозяйства. Из них делают, в частности, шары для шаровых мельниц. Шары измельчают разные материалы, например графит для карандашей и полиграфические краски. Из литого базальта изготавливаются клиновидные блоки для облицовки шаровых мельниц, гидроциклоны для горнорудного оборудования, желоба гидротранспортов, удалителей тепловых электростанций и т. п.

Испытания базальтовых гидроциклонов на Ново-Криворожском горнообогатительном комбинате показали, что они обходятся в

2—3 раза дешевле, чем металлические, а срок их службы увеличивается в 20 раз.

Базальтовые изделия в виде футеровочных плиток служат для облицовки кислотохранилищ и заменяют цветные металлы, которые шли на изготовление трубок пневматической подачи колчедана для обжига в печах, различных емкостей с агрессивными средами, лопастей мешалок суперфосфатных агрегатов и др.

Исходный материал — базальт (горная порода вулканического происхождения) недефицитен и недорог. Поэтому потребность в нем камнелитейных заводов легко удовлетворяется.

ЛИТЕРАТУРА

М. Б. Альтман. Методы рафинирования алюминиевых сплавов. Цветное литье. Машгиз, 1954.

М. Б. Альтман, А. А. Лебедев, А. П. Полянский и М. В. Чупров. Плавка и литье легких сплавов. Metallurgizdat, 1956.

М. Б. Альтман, М. Я. Телис, А. П. Полянский и В. В. Меркулов. Универсальный флюс для модифицирования и рафинирования алюминиевокремниевых сплавов. Филиал ВИНТИ Академии наук СССР.

М. Б. Альтман, О. Б. Лотарева и Н. С. Постников. Высокоточный сплав ВАЛ2. В сб.: «Алюминиевые сплавы», вып. 1, «Литейные сплавы». Оборонгиз, 1963.

В. С. Астаулов, Е. И. Жеглова и В. М. Комиссарова. Магниево-алюминиевые сплавы с повышенной коррозионной стойкостью. ГНТК СССР и АН СССР, 1958.

П. И. Баранов. Плавка и рафинирование литейных алюминиевых сплавов. Оборонгиз, 1949.

И. Л. Барташев и А. Я. Нашельский. Совершенствование технологии производства свинцовокальциевых сплавов. Бюллетень «Тяжелая промышленность Подмоскovie», 1958, № 9.

Н. Н. Белоусов. Плавка и разливка сплавов цветных металлов. Машгиз, 1961.

Н. Н. Белоусов. Современные технологические процессы изготовления отливок из цветных сплавов (обзор). ЛДНТП, 1958.

R. F. Budzjak и F. W. Richards «Degassing of aluminium with nitrogen — chlorine mixture». «Foundry», № 11, 1962, p. 150—152, 155.

М. В. Богов и Ф. Л. Грибов. Обогрев прибылей отливок из медных сплавов. «Литейное производство», 1962, № 5.

А. А. Бочвар. Пористость цветного литья и методы борьбы с ней. В сб.: «Новое в технологии литейного производства». Машгиз, 1941.

А. А. Бочвар и А. Г. Спасский. Устранение пористости в фасонных отливках путем проведения кристаллизации под давлением. «Авиа-промышленность», 1936, № 7.

Г. М. Вайнштейн, Э. П. Локшин, Я. А. Центр. Усовершенствование плавки и литья магниевых сплавов. Metallurgizdat, 1962.

С. М. Воронов. Газы в алюминиевых сплавах и методы дегазации расплава. ОНТИ, 1938.

И. Е. Горшков. Литье слитков цветных металлов и сплавов. Metallurgizdat, 1952.

А. А. Горшков и С. В. Варгин. Сезонная газовая пористость отливок из алюминиевокремнистых сплавов. «Литейное производство», 1954, № 8.

Г. Грубер. Плавка металлов электронным лучом. ИЛ, 1963.

А. П. Гудченко. Труды МАТИ. Оборонгиз, № 49, 1961.

А. П. Гудченко. Об эффективности технологии литья из сплава АЛ13. Труды МАТИ. Оборонгиз, выпуск 11, 1951.

- Н а у с о н. J. G. S l a t e r «Journal Institut Metals», 46, 217, 1931
- Г. С. Е н и к е е в. О применении флюсов при плавке алюминиевых сплавов. «Вопросы теории и практики литейного производства». Труды Уральского политехнического института им. Кирова, № 60, 1956.
- М. А. И с т р и н, В. М. Б а з и л е в с к и й, А. Б. К а ч а л о в и А. И. Щ у ч к и н. Справочник. «Вторичные цветные металлы». Металлургиздат, 1951.
- А. В. Л а к е д е м о н с к и й. Технология плавки и заливки нового подшипникового сплава СОСБ-6. МДНТП, 1956.
- А. М. Л и п н и ц к и й. Плавка чугуна и сплавов цветных металлов. Машгиз, 1960.
- Л. Б. Л е б е д е в. Усовершенствованная установка для вакуумирования алюминиевых сплавов. Бюллетень «Промышленность Подмосковья», МОСКХ, № 10, 1962.
- О. А. Л е б е д е в, Н. А. Ф р а н т о с е е в, К. Д. М у ж ж а в л е в. Литье рафинирование и приготовление магниевых сплавов. Изд. «Металлургия», 1965.
- В. С. Л о в ч и к о в. Плавка магния и магниевых сплавов. Лекция ВЗПИ, 1961.
- А. С. Л у г а с ь к о в. Отливка магниевых сплавов. Оборонгиз, 1942.
- В. В. К р ы м о в. Свойства магниевых сплавов и их применение в технике. Сборник статей. Стандартгиз, 1950.
- В. В. К р ы м о в и Г. С. В ы ш к в а р к о. Фасонное литье из магниевых сплавов. Оборонгиз, 1952.
- В. В. К р ы м о в. Технология литья магниевых сплавов. Оборонгиз, 1952.
- В. В. К р ы м о в. Техника безопасности и производственная санитария при работе с магниевыми сплавами. Оборонгиз, 1955.
- Плавка и литье цветных металлов и сплавов. Под редакцией Дж. Мерф. Металлургиздат, 1959.
- Справочник металлурга по цветным металлам. Под редакцией Н. Н. Мурача. Т. 1. Металлургиздат, 1953.
- М. В. М а л ь ц е в. Пути улучшения качества отливок из цветных сплавов. Фасонное литье медных сплавов. НТО Машпрома, 1957.
- В. М а л ь ц е в. Модифицирование структуры металлов и сплавов. Изд. «Металлургия», 1964.
- Л. М. М а р и е н б а х. Кинетика химических реакций металлургических процессов. Труды Московского Машиностроительного института, вып. 1, 1953.
- Л. М. М а р и е н б а х. Печи в литейном производстве. Машгиз, 1964.
- К. Н. М и л и ц ы н, В. С. Л о в ч и к о в и А. М. С у в о р о в. Плавка и литье цветных металлов и сплавов. Металлургиздат, 1956.
- М. Н и к и т и н. Флюсы в производстве сплавов цветных металлов. Металлургиздат, 1956.
- Ю. А. Н е х е н д з л, А. М. С а м а р и н, К. П. Л е б е д е в, И. В. К у п ц о в «Комплексная проба для определения литейных свойств сплавов». «Литейное производство» № 7, 1966.
- Н. Д. О р л о в и В. М. М и р о н о в. Фасонное литье из сплавов тяжелых цветных металлов. «Справочник литейщика». Машгиз, 1960.
- В. С. К а л а б у ш к и н и М. В. П и к у н о в. Фильтрование металла. «Литейное производство», 1960, № 6.
- А. П. К а п у с т и н. Экспериментальное исследование влияния ультразвука на кинетику кристаллизации. Изд. АН СССР, Сер. физ., т. 14, № 3, 1950.
- И. Ф. К о л о б н е в. Методы борьбы с газовой пористостью в алюминиевых отливках. «Техника воздушного флота», 1937, № 2.
- И. Ф. К о л о б н е в и М. Б. А л ь т м а н. Газы в алюминиевых сплавах. Оборонгиз, 1948.

И. Ф. Колобнев и М. Б. Альтман. Газовая пористость и методы борьбы с ней в алюминиевых сплавах. ИТЭИИ Госплана СССР, 1948.

И. Ф. Колобнев. Основные принципы легирования литейных алюминиевых сплавов в зависимости от рабочей температуры и области их применения. Сб. «Литейные алюминиевые сплавы». Оборонгиз, 1961.

И. Ф. Колобнев, В. М. Бусаров и Л. В. Швырев. Жаропрочный сплав типа силумина для поршней двигателей внутреннего сгорания. «Алюминиевые сплавы», вып. 1. «Литейные сплавы». Оборонгиз, 1963.

В. Г. Коротков. Рафинирование литейных алюминиевых сплавов. Машгиз, 1963.

И. Ф. Колобнев, В. В. Крымов, А. П. Полянский. Фасонное литье из алюминиевых и магниевых сплавов. «Справочник литейщика». Машгиз, 1957.

В. Г. Коротков. Рафинирование алюминиевых сплавов комбинированным способом. «Литейное производство», 1964, № 2.

М. П. Купцов. Окраска чугунных тиглей для плавки алюминиевых сплавов. «Литейное производство», 1958, № 12.

М. Ф. Одина и М. В. Шаров. Обработка алюминиево-магнелиевых сплавов в жидком состоянии. «Литейное производство», 1951, № 9.

А. М. Печковский. Новое в технологии изготовления крупногабаритных магниевых отливок. МДНТП, 1957.

К. И. Портной и А. А. Лебедев. Магнелиевые сплавы. Металлургиздат, 1952.

В. П. Сальников и А. Г. Спасский. Очистка магниевых сплавов методом фильтрации. «Литейное производство», 1962, № 12.

А. Г. Спасский. Основы литейного производства. Металлургиздат 1950.

А. Г. Спасский, М. В. Пикунов и Е. А. Лебедев. Очистка металлов от плен фильтрацией. «Литейное производство», 1961, № 12.

В. И. Силаев. Литейный алюминиевый сплав МВТУ-1, «Алюминиевые сплавы», вып. 1. «Литейные сплавы». Оборонгиз, 1963.

И. И. Сидорин. Алюминий и его сплавы. НТО Машпром, 1959.

Л. И. Сокольская. Газы в легких сплавах. Металлургиздат, 1950.

Л. О. Соколовский, М. Н. Вахромеев и А. Г. Капалин. Литье из алюминиево-магнелиевых сплавов АЛ8 и АЛ13. Машгиз, 1955.

Л. О. Соколовский. Рациональное использование стружки цветных металлов и сплавов на некоторых машиностроительных заводах. Рациональное использование стружки и других отходов черных и цветных металлов. Сб. статей. Машгиз, 1956.

В. С. Тарасенко. Раскисление бронзы карбидом кальция. ПКТИ Кневского СНХ. Научно-технический сборник, № 3. Машгиз, 1960.

М. Я. Телес. Плавка цветных металлов и сплавов. Изд. «Высшая школа», 1964.

В. М. Чурсин. Влияние малых присадок некоторых элементов на структуру и свойства оловянных бронз. Фасонное литье медных сплавов. НТО Машпром, 1957.

М. В. Чухров и С. И. Боровикова. Изменение структуры и свойств магниевых сплавов под действием ультразвука. Сб. докладов НТО Машпрома, № 3, 1961.

М. В. Чухров. Новые методы литья из магниевых сплавов. Оборонгиз, 1948.

М. В. Шаров. Легкие сплавы и их сравнительная характеристика. ВНИОМАШ, № 33. Машгиз, 1950.

Г. И. Эскин. Ультразвуковая обработка расплавленного алюминия. «Металлургия», 1965.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение. Исторический обзор развития цветного литья	5
§ 1. Возникновение и развитие литья из цветных металлов	5
§ 2. Зарождение литейного производства в России	6
§ 3. Развитие цветолитейного производства в России и в СССР	8
Глава I. Физико-химические основы плавки цветных металлов	13
§ 1. Особенности плавки цветных металлов и сплавов	13
§ 2. Термодинамические основы процесса плавки	14
§ 3. Кинетические основы процесса плавки	22
§ 4. Растворение газов в металлах	30
§ 5. Удаление газов, твердых окислов и других загрязнений из расплавленного металла	33
§ 6. Раскисление	34
§ 7. Флюсование	36
§ 8. Модифицирование	39
§ 9. Влияние малых добавок и ультразвука на структуру и свойства цветных металлов и сплавов	41
Глава II. Конструкции плавильных печей для плавки цветных металлов и сплавов	47
§ 1. Топливные печи	48
Тигельные и котловые печи	49
Пламенные печи	51
§ 2. Электрические печи	56
Печи сопротивления	56
Дуговые печи	58
Индукционные печи	74
Электроиндукционные печи	85
Глава III. Технология плавки и разливки сплавов тяжелых цветных металлов	91
§ 1. Химический состав, свойства и области применения	91
Медные сплавы	91
Цинковые сплавы	103
Оловянные и свинцовые сплавы	105
Никелевые и медноникелевые сплавы	111
§ 2. Шихтовые материалы и их подготовка к плавке	112
§ 3. Приготовление переплавов из оборотных отходов и стружки россилью	114
§ 4. Расчет шихты сплавов тяжелых цветных металлов	116
§ 5. Приготовление флюсов и лигатур	120
Приготовление флюсов	120
Приготовление лигатур	124
§ 6. Плавка и разливка сплавов тяжелых цветных металлов	131
Глава IV. Технология плавки и разливки алюминиевых сплавов	151
§ 1. Химический состав, свойства и области применения	151
Система алюминий — медь	157

Система алюминий — магний

Система алюминий — цинк

Система алюминий — кремний

§ 2. Шихтовые материалы и их подготовка к плавке

§ 3. Приготовление лигатур и предварительных сплавов

Приготовление лигатур

Приготовление предварительного чушкового сплава

§ 4. Расчет шихты алюминиевых сплавов

§ 5. Отличительные особенности плавки и разлива алюминиевых сплавов

§ 6. Практические приемы и способы дегазации и очистки алюминиевых сплавов от неметаллических включений

§ 7. Качественные и количественные методы определения содержания газов в алюминиевых сплавах

Качественные методы

Количественные методы

Г л а в а V. Технология плавки и разлива магниевых сплавов

§ 1. Химический состав, свойства и области применения

§ 2. Шихтовые материалы, флюсы и их подготовка к плавке

§ 3. Приготовление переплава лигатур и предварительных сплавов

§ 4. Приготовление рабочих магниевых сплавов

§ 5. Расчет шихты магниевых сплавов

§ 6. Отличительные особенности плавки и разлива магниевых сплавов

§ 7. Основные правила техники безопасности при плавке и разливе магниевых сплавов

Г л а в а VI. Заключение

Литература